

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“Diseño e Implementación de un Sistema de Control de
Focos Incandescentes en los Hogares por Medio de un
Control Remoto Universal”

INFORME DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

Presentado por:

Juan Carlos Asencio Mera

Joffre Alberto Yagual Castro

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2009

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo, especialmente al Ing. Efrén Herrera, Director del Presente Proyecto, por su invaluable ayuda.

DEDICATORIA

A toda mi familia por
su apoyo constante en
mi educación y
formación.

Joffre

Le agradezco a mi
familia y profesores
por todo el apoyo
brindado durante mi
formación académica.

Juan Carlos

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

MSc. Jorge Aragundi
SUBDECANO DE LA FIEC
PRESIDENTE

MSc. Efrén Herrera M.
DIRECTOR

MSc. Carlos Salazar L.
MIEMBRO PRINCIPAL

MSc. César Martín M.
MIEMBRO PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este proyecto de graduación nos corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”
(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

Juan Asencio Mera

Joffre Yagual Castro

RESUMEN

El presente trabajo expone el diseño e implementación de un sistema de control de luces incandescentes por medio de un control remoto universal ajustando el diseño al mercado de los hogares ecuatorianos en base a costes, simplicidad de uso y necesidades de la tecnología moderna para la iluminación.

Inicialmente se describe los antecedentes de la iluminación y cómo en la actualidad las necesidades tecnológicas han evolucionado para dar paso a las soluciones actualmente propuestas por cualquier sistema de domótica, se explica el alcance de estas soluciones y hacia dónde están enfocadas, la justificación de la realización del presente proyecto y el sector de mercado al cual está dirigido así como también las perspectivas hacia nuevas tecnologías de luminarias.

Luego de haber explicado la problemática y en consecuencia precisado las soluciones demandadas por el proyecto, se detallan las herramientas y tecnologías a utilizar para llevar a cabo la implementación del mismo. Esto es el estudio de los protocolos existentes en la comunicación por infrarrojos y la selección del más apropiado con su respectivo módulo receptor. El uso del microcontrolador y sus prestaciones a los requerimientos de diseño con el software apropiado para el desarrollo de las instrucciones y procedimientos.

Posteriormente se procede al diseño del sistema que comprende la fuente de poder, el detector de cruce por cero, el circuito de fuerza para las cargas, el detector infrarrojo y teclado como dispositivos de entrada y los algoritmos de programación del microcontrolador que llevan el control de todo del sistema. Así como también la explicación del control de operación del dispositivo a implementar y las consideraciones en su instalación.

Finalmente se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de funcionamiento del dispositivo que comprenden las señales y formas de onda más importantes hacia y desde el microcontrolador demostrando su óptimo desempeño.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS	XI
SIMBOLOGÍA	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XV
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. CONSIDERACIONES DE LA TECNOLOGÍA	
MODERNA PARA LA ILUMINACIÓN	3
1.1. Antecedentes y Necesidades Actuales.....	3
1.2. Soluciones Existentes.....	5
1.3. Descripción, Justificación y Alcance de Nuestra Solución.....	10
1.4. Perspectivas Hacia Nuevas Tecnologías	13
CAPÍTULO 2	
2. BASES TÉCNICAS DEL PROYECTO	19
2.1. Comunicación por Infrarrojos.....	19

2.1.1. Banda de Operación y Diversidad de Protocolos	20
2.1.2. Especificaciones del protocolo SONY IR.....	30
2.1.3. Especificaciones del Módulo Receptor de IR de Radio Shack	33
2.2. Prestaciones del Microcontrolador PIC16F886.....	38
2.3. Prestaciones del Software CCS PCWH.....	39

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DETALLADO DEL SISTEMA	41
3.1. Fuente de Poder	42
3.2 Detector de Cruce por Cero.....	46
3.3. Control de Operación.....	49
3.4. Programa Principal	55
3.5. Control de Interrupciones	59
3.6. PWM.....	62
3.7. Decodificador del Protocolo SONY IR	74
3.8. Encendido / Apagado de una Luz.....	77
3.9. Control de Intensidad.....	78
3.10. Control de Escenas y Manejo de la EEPROM.....	79
3.11. Etapa de Fuerza	84
3.12. Consideraciones en la Instalación	86
3.13. Diseño del Plan de Pruebas	87

CAPÍTULO 4

4. PRUEBAS Y RESULTADOS OBTENIDOS	90
4.1. Pruebas con Señales Generadas por la Unidad de Control Remoto..	90
4.2. Pruebas con Señales Obtenidas del Módulo Receptor de IR	95
4.3. Pruebas con Señales Características del Módulo PWM.....	101
4.4. Respuesta a un Paso en el Control de Intensidad.....	106
 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	109
CONCLUSIONES	111
RECOMENDACIONES	114
APÉNDICES	115
BIBLIOGRAFÍA	129

ABREVIATURAS

AC	Corriente Alterna
AGC	Control de Ganancia Automática
CCPx	Módulo Capturador/Comparador/PWM del PIC
CCPRx	Registro del Módulo Capturador/Comparador/PWM del PIC
CMOS	Semiconductor de Metal Óxido Complementario
DALI	Digital Addressable Lighting Interface
DC	Corriente Continua
EEPROM	Memoria ROM programable y borrrable eléctricamente.
IR	Radiación Infrarroja
LED	Diodo Emisor de Luz
LFC	Lámpara Fluorescente Compacta
PWM	Modulación en Ancho de Pulso
RAM	Memoria de Acceso Aleatorio
ROM	Memoria de sólo Lectura
TTL	Tecnología Transistor a Transistor
V	Voltio
VCR	Video Cassette Recorder

SIMBOLOGÍA

β	Factor de amplificación o ganancia del transistor
i_b	Corriente de base del transistor
i_c	Corriente de colector del transistor
τ	
T	Período de Onda
t_c	Tiempo de carga del capacitor
t_d	Tiempo de descarga del capacitor
V_{cc}	Voltaje de corriente directa
V_{max}	Voltaje máximo
V_{min}	Voltaje mínimo
V_{zc}	Voltaje de cruce por cero

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 Codificación por distancia entre pulsos	22
Fig. 2.2 Codificación de bit del protocolo NEC	23
Fig. 2.3 Estructura de la trama de datos del protocolo NEC	24
Fig. 2.4 Estructura de la trama de autorepetición del protocolo NEC	24
Fig. 2.5 Secuencia completa de la trama de autorepetición de NEC	24
Fig. 2.6 Codificación por ancho de pulsos	25
Fig. 2.7 Codificación manchester en su publicación inicial	25
Fig. 2.8 Codificación de bit del protocolo RC5	27
Fig. 2.9 Estructura de la trama de datos del protocolo RC5.....	27
Fig. 2.10 Secuencia completa de la trama de autorepetición de RC5	27
Fig. 2.11 Codificación FSK.....	28
Fig. 2.12 Codificación por distancia entre pulsos	28
Fig. 2.13 Codificación de bit del protocolo ITT	29
Fig. 2.14 Estructura de la trama de datos del protocolo ITT	29
Fig. 2.15 Secuencia completa de la trama de autorepetición de ITT	30
Fig. 2.16 Versiones del protocolo SIRC	30
Fig. 2.17 Codificación de bit del protocolo SIRC.....	31
Fig. 2.18 Estructura de la trama del protocolo SIRC	31
Fig. 2.19 Secuencia completa de la trama de autorepetición de SIRC	32
Fig. 2.20 Diagrama de bloques de un receptor IR integrado.....	34
Fig. 2.21 Señal de Salida de un receptor con un intervalo entre pulsos de 20ms	35
Fig. 2.22 Señal perturbadora de una lámpara fluorescente con un intervalo entre ráfagas de pulsos de 7ms.....	36
Fig. 3.1 Diagrama de bloques del sistema	42
Fig. 3.2 Esquemático de la fuente de poder y circuito detector de cruce por cero.....	43
Fig. 3.3 Formas de onda del voltaje del capacitor y onda rectificada de la fuente de poder	44
Fig. 3.4 Formas de onda del cruce por cero y de la onda rectificada de la fuente de poder	47
Fig. 3.5 Árbol de comandos	53
Fig. 3.6 Algoritmo de inicialización	55

Fig. 3.7 Algoritmo de respuesta a interrupción del teclado	56
Fig. 3.8 Algoritmo de respuesta a interrupción del control remoto	57
Fig. 3.9 Algoritmo de control de interrupciones.....	60
Fig. 3.10 Formas de onda de una señal PWM con un ciclo de trabajo del 50% con la señal respectiva aplicada a la carga.....	63
Fig. 3.11 Diagrama de bloques del módulo comparador del TMR1	65
Fig. 3.12 Algoritmo de aumento/disminución de un paso	67
Fig. 3.13 Algoritmo de decodificación de las señales del protocolo SIRC	75
Fig. 3.14 Algoritmo de encendido/apagado de una luz	78
Fig. 3.15 Algoritmo de control de escenas.....	81
Fig. 3.16 Distribución de la memoria EEPROM	83
Fig. 3.17 Esquemático del circuito de fuerza	84
Fig. 4.1 Trama del protocolo SIRC generada por el control remoto	91
Fig. 4.2 Medición de la frecuencia central del tren de pulsos.....	92
Fig. 4.3 Medición del segmento de inicio de la señal del control remoto	93
Fig. 4.4 Medición del bit “1” de la señal del control remoto	94
Fig. 4.5 Medición del bit “0” de la señal del control remoto	94
Fig. 4.6 Medición del espacio entre trenes de pulsos de la señal del control remoto.....	95
Fig. 4.7 Trama del protocolo SIRC a la salida del receptor IR	96
Fig. 4.8 Medición del segmento de inicio de la señal del receptor IR	97
Fig. 4.9 Medición del bit “1” de la señal del receptor IR	98
Fig. 4.10 Medición del bit “0” de la señal del receptor IR	98
Fig. 4.11 Medición del espacio entre pulsos de la señal del receptor IR	99
Fig. 4.12 Espacio de fin de trama de la señal del receptor IR.....	100
Fig. 4.13 V_{rms} en carga vs ángulo de disparo.....	102
Fig. 4.14 Señal de cruce por cero	103
Fig. 4.15 Modulación PWM para un foco totalmente encendido	104
Fig. 4.16 Retardo en la respuesta al cruce por cero	104
Fig. 4.17 Modulación PWM con un ciclo de trabajo del 70% aproximadamente	105
Fig. 4.18 Modulación PWM con un ciclo de trabajo del 25% aproximadamente	106
Fig. 4.19 Modulación PWM en 46.7% de ciclo de trabajo (medición inicial)	107
Fig. 4.20 Modulación PWM en 45.3% de ciclo de trabajo (medición final) ..	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Comandos del protocolo SIRC.....	33
--	----

Tabla 4.1 Valores experimentales del voltaje RMS en la carga vs el ángulo de disparo	101
--	-----

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el crecimiento tecnológico ha dado cabida a la introducción de nuevos sistemas que resuelvan los problemas y necesidades de la sociedad de una manera más eficaz y cómoda que los actuales. De aquí que muchos sistemas están quedando obsoletos y nuevas soluciones se incorporan a la gama de posibilidades de las personas para obtener cierto nivel de comodidad y bienestar en una aplicación específica.

Los sistemas de iluminación constituyen una de estas necesidades tanto así que los sistemas modernos tienen que hacer algo más que encender y apagar una luz, deben ser elementos importantes para conseguir un nivel de confort dentro de un lugar y ahorro en la gestión de instalaciones.

El sistema tradicional no presenta soluciones modernas en la gestión de luminarias, no es posible ajustar el nivel de luminosidad a las necesidades del usuario siendo lo mismo encender una luz en el día o en la noche e inclusive durante el día existen diferentes estados de iluminación que ofrece la luz natural, no es posible establecer escenas programadas en ambientes grandes que se ajusten a las diversas situaciones expuestas a diario en los hogares.

El presente proyecto implementa estas propuestas basado en una solución asequible y dirigida a hogares que permita a la sociedad avanzar un paso más en lo que respecta a domótica y las nuevas tecnologías que brinda en la actualidad proponiendo los siguientes objetivos.

- Diseñar e implementar un sistema para ajuste del nivel de luz de las luminarias de una casa con control manual e inalámbrico que sea asequible en términos monetarios a este sector de mercado.
- Brindar por medio de este sistema comodidad y confort en los diferentes ambientes de un hogar usando escenas de iluminación pre-grabadas.
- Lograr un ahorro en el consumo de energía en una casa en lo que respecta a iluminación con luces incandescentes.

CAPÍTULO 1

1. CONSIDERACIONES DE LA TECNOLOGÍA MODERNA PARA LA ILUMINACIÓN

En el presente capítulo se describen los antecedentes de la iluminación, las necesidades actuales con el avance de la tecnología, cuáles son las soluciones actualmente implementadas y hacia dónde van dirigidas, la justificación del proyecto, su alcance y el sector de mercado propuesto, y las perspectivas con las nuevas tecnologías de luminarias.

1.1. Antecedentes y Necesidades Actuales

La bombilla incandescente (foco) fue un invento que revolucionó al mundo en los años 1880 cuando fue inventada por Thomas Alva Edison, este tipo de focos son los que comúnmente existen en los hogares, tienen la capacidad de aplicar una cierta cantidad de lúmenes constante en cualquiera de sus escenarios de uso ya sea en

lugares oscuros o de poca luminosidad natural, siendo su activación mediante un interruptor normalmente empotrado a la pared.

Hoy en día con la evolución de la tecnología, se ha visto cómo los equipos de uso cotidiano han cambiado la forma en que son controlados a una más cómoda y rápida mediante la introducción de la unidad de control remoto. En esta gama de equipos se encuentran los televisores cuyo control hace algunos años atrás se basaba en perillas que debían ser ajustadas por el usuario mediante el acercamiento físico al televisor lo que suponía muchas veces un grado de incomodidad y malestar. De igual manera sucedía con el Betamax, Equipo de Sonido, Aires Acondicionados, etc. La inclusión del control remoto constituyó una solución importante e imprescindible a este tipo de inconvenientes, tal que equipos más recientes como el VHS y posteriormente el DVD incluyeron desde sus inicios este recurso.

En la actualidad la mayoría de tecnologías se manejan remotamente siendo sencillas y cómodas de utilizar lo que plantea en un uso similar para controlar el funcionamiento de las luminarias.

Por otra parte, el control del nivel de intensidad también ha sido un recurso ampliamente introducido en empresas y hogares. Dispositivos

conocidos como “dimmers” son actualmente encontrados en el mercado para el control de una luminaria como reemplazo al interruptor común y corriente, con lo que se permite ajustar el nivel de lúmenes emitidos por el foco evitando una emisión constante y así poder ajustarlo al nivel que los diversos escenarios demandan.

1.2. Soluciones Existentes

En la actualidad existen recursos que solucionan total o parcialmente las necesidades descritas en el subcapítulo anterior. Una de ellas es el protocolo de iluminación inteligente DALI que es un protocolo internacional de interconexión de equipos de control electrónico de luz, que ha sido desarrollado por las principales empresas del sector de la iluminación con el objetivo de garantizar un estándar unificado en el sector. No hace referencia a un sistema concreto, sino a un estándar de comunicación entre un controlador y los distintos equipos de conexión electrónicos.

Cuando se instala un sistema de control digital DALI en el sistema de iluminación de una empresa u hogar, se abre un mundo de posibilidades tan variadas como avanzadas.

Una de las más importantes es el hecho que cada luminaria del sistema puede controlarse de forma individual, por grupos o bien de

forma conjunta y simultánea. Esto posibilita miles de combinaciones de luz en toda la casa, que pueden ser alternadas a gusto del usuario. El sistema también permite enviar mensajes a las unidades de control y obtener información sobre el estado de funcionamiento de las citadas luminarias, tanto de forma individual como por grupos. Además, el estado de los balastos puede ser comprobado de forma totalmente automática. DALI ofrece también una gran flexibilidad para el reagrupamiento de las luminarias y su regulación automática simultánea de todas las unidades una vez memorizadas las escenas de niveles de luminosidad.

En cuanto a su funcionamiento, es realmente accesible a cualquier usuario, ya que el “cerebro” de DALI reside en su unidad de control. En esta, se desarrolla de forma automática rutinas que permiten la detección de los componentes conectados en el sistema y los direcciona. El usuario define el funcionamiento del sistema mediante comandos simples que actúan a través de los diferentes elementos de control. Por ello resulta muy sencillo y rápido cambiar las configuraciones y ajustarlas a los nuevos requerimientos que se precisen. Por ende este tipo de solución estaría propuesto para el uso en empresas o edificios, ya que en hogares resultaría costoso.

Diseñado para el control de los niveles de iluminación en función de las necesidades reales que se presentan en un edificio durante las 24 horas, utilizándose con luminarias fluorescentes que poseen una bornera de ingreso para las señales de este protocolo, con el fin de lograr ahorros de energía de hasta un 40% anual, DALI toma la información obtenida por sensores de nivel de iluminación en plano de trabajo para complementar el ingreso de la luz diurna con la luz artificial, detectores de presencia y controles IR para accionar en forma remota y manual, algunos ejemplos de aplicaciones típicas para este tipo de sistemas son instalaciones de oficinas y salones de conferencia, salas de clase y espacios que requieren un esquema de iluminación flexible.

Otro protocolo muy popular es el X-10, que es el lenguaje de comunicación que utilizan los productos compatibles X10 para comunicarse entre ellos y que le permiten controlar no sólo las luces sino los electrodomésticos del hogar en gran parte, aprovechando para ello la instalación eléctrica existente de 220V de la casa, y evitando tener que instalar cables.

Los productos de automatización del hogar X10 están diseñados para que puedan ser instalados fácilmente por cualquier persona sin necesidad de conocimientos avanzados. Cada aparato tiene una

dirección a la que responde o envía, existiendo un total de 256 direcciones. Todos los productos X10 son compatibles entre sí por lo que se pueden combinar para formar el sistema más apropiado a sus preferencias.

Una de las grandes ventajas que tiene el sistema X10 es ser totalmente universal y por lo tanto transportable. Si se cambia la puerta de la casa, lo más normal es que no se la lleve el día que se mude. En cambio todos los productos X10 son tan fáciles de instalar y desinstalar que el día que se cambie de casa u oficina se los lleva consigo, igual que se llevaría la televisión, pues le seguirán sirviendo en su nueva ubicación.

El sistema X-10 se caracteriza principalmente por:

- Ser un sistema descentralizado; configurable, no programable.
- De instalación sencilla (conectar y funcionar).
- De fácil manejo por el usuario.
- Compatibilidad casi absoluta con los productos de la misma gama, obviando fabricante y antigüedad.
- Flexible y ampliable.

Su considerable gama de productos permite aplicaciones diversas en los campos de:

- Seguridad: intrusión, fugas de gas, inundaciones, incendio, alarma médica, simulación de presencia.
- Confort: control centralizado / descentralizado de iluminación y aparatos así como persianas. Manejo con mando a distancia. Facilidades para audio y video. Posibilidad de gestión a través de ordenador personal.
- Ahorro energético: programación nocturna y optimización de recursos.
- Comunicación: control telefónico remoto. Aviso de la vivienda ante incidentes (control telefónico bidireccional).

Existen también productos más sencillos en el mercado actual para el control de focos incandescentes con características limitadas, ofreciendo el encendido y apagado de luminarias incandescentes, y el control de intensidad “dimming” por medio de un control remoto dedicado y disponible para un foco en particular, algo que no es escalable ya que si se requiere controlar todas las luces del hogar se tendría que adquirir un equipo por cada luminaria y además manejar

varias unidades de control remoto para cada dispositivo lo que resultaría más costoso e incómodo.

Muchas personas ya están enteradas de este tipo de tecnologías para poder manejar de una forma más sencilla las luminarias dentro de un hogar pero algunas de estas no están al alcance del presupuesto como para poder tenerlas en el domicilio y otras no ofrecen las características de confort y facilidad de uso requeridas en el hogar.

1.3. Descripción, Justificación y Alcance de Nuestra Solución

El presente proyecto de graduación se basa en las necesidades descritas en los subcapítulos anteriores para implementar un dispositivo al alcance de los hogares desde el punto de vista económico que tenga características similares a los equipos con protocolo DALI pero menos robusto tal que se ajuste a las necesidades personales y no empresariales que permita manejar con comodidad y facilidad el funcionamiento de las luminarias y que pueda ser de gran competitividad en este sector de mercado.

El producto está diseñado para que su uso sea por medio de un control remoto universal y con este poder activar cada una de las luminarias del hogar. Implementa una facilidad de uso comparable al

control de otros dispositivos como la TV. La unidad de control remoto universal puede ser la misma utilizada para controlar la TV o DVD con la opción de VCR disponible para su reuso.

Posee funciones que serían de mucha utilidad y beneficio con el fin de brindar un producto creativo, tiene la capacidad de administrar o controlar hasta 3 focos incandescentes, y sus funciones son las siguientes:

- Encendido y apagado progresivo de los focos, esto recrea una propuesta interesante en lo que respecta a iluminación decorativa conocida como encendido progresivo (fade in) y desvanecimiento (fade out) no controlado que permitirá añadir un toque llamativo al encendido y apagado de las luces.
- Control de intensidad, lo que permite reducir el consumo de energía ajustando sólo la requerida, por ejemplo en lugares no muy oscuros puede fijar la intensidad en una proporción menor evitando el encendido en su totalidad que ofrecen los interruptores comunes y corrientes.
- Programación de escenas o encendido por grupos, lo que permite guardar el nivel de intensidad de dos o más luces en un escenario dado, es decir si por alguna razón en un lugar se ha

establecidos diferente nivel de intensidad para cada foco, se tiene la capacidad de almacenar ese escenario y después de apagado el mismo retomar la misma intensidad para cada foco en el momento que el usuario considere conveniente, con un solo código que se envía por medio del control hacia el receptor del dispositivo.

Además el sistema puede ser escalable para direccionar hasta 9 focos con tres módulos o equipos para un ambiente que así lo requiera. Y en ambientes separados, debido a la línea de vista, reusar las direcciones para controlar cuantos focos sea necesario.

También cuenta con funciones como encendido y apagado de todas las luces a la vez y el control de pared del sistema, el cual es similar al interruptor común y corriente empotrado en la pared pero con un funcionamiento digital que permite controlar los tres focos en forma individual para un manejo básico.

Este proyecto también sería de mucha utilidad en las viviendas si los usuarios son de edad avanzada o discapacitados que no tienen la facilidad de movimiento.

1.4. Perspectivas Hacia Nuevas Tecnologías

Con el rápido crecimiento de tecnologías que permiten automatizar el control en la iluminación y así contribuir al ahorro energético, también ha crecido esta situación desde la perspectiva del dispositivo controlado que es la luminaria.

Así hoy en día se cuenta con una variedad de tipos de luminarias, cada una con características basadas principalmente a consumir menor cantidad de energía eléctrica mediante la transformación eficiente de electricidad a luz donde el foco incandescente por su baja eficiencia ocupa los últimos lugares.

Algunas de estas tecnologías de iluminación se están masificando, como es el caso de las Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC), que en vez de usar un filamento o resistencia para producir la luz visible, como lo hacen las lámparas convencionales, utilizan la tecnología de tubos fluorescentes. En el tubo LFC la luz es producida por una reacción química en la cual unas moléculas de mercurio son excitadas por la electricidad y producen rayos ultravioletas (UV) que son los que excitan unas moléculas de argón y criptón las cuales producen la luz visible.

Ha sido comprobado por laboratorios especializados que los fluorescentes compactos ahorran hasta un 70% en iluminación y que una persona puede reemplazar un bombillo que consume 100 vatios por una LFC que consume 20 vatios sin perder calidad en la iluminación y gastando un 80% menos, además del ahorro en consumo eléctrico, las LFC tienen una vida útil muy superior a los bombillos comunes. En este sentido, una LFC dura entre 6.000 y 90.000 horas seguidas dependiendo de la marca y la potencia. Un bombillo incandescente de 25 vatios en cambio tiene una durabilidad de aproximadamente 1.000 horas seguidas.

Este tipo de luminaria no puede ser controlada con el sistema propuesto debido a que posee una electrónica en sus balastros no acoplable a los dimmers convencionales que ofrecen como salida la señal de alimentación recortada.

Los fluorescentes no puedes realizar encendidos y apagados rápidos, y requieren de un calentamiento inicial del gas interior, y la regulación de la intensidad de luz de un fluorescente no es lineal como la de una bombilla.

Sin embargo existen balastros electrónicos que permiten el control de intensidad de estos fluorescentes con circuitos electrónicos complejos

que requieren a su entrada la señal de alimentación completa ya que la regulación de intensidad se realiza internamente.

Por otro lado se tiene las lámparas halógenas que son una variante de la lámpara incandescente, en la que el vidrio se sustituye por un compuesto de cuarzo, que soporta mucho mejor el calor (lo que permite lámparas de tamaño mucho menor, para potencias altas) y el filamento y los gases se encuentran en equilibrio químico, mejorando el rendimiento del filamento y aumentando su vida útil. Producen mayor eficiencia y una luz más blanca que las bombillas comunes, además de radiar en pequeñas cantidades luz ultravioleta.

Actualmente las luminarias incluyen filtros ultravioletas para evitar los posibles riesgos que conllevan la exposición a este tipo de rayos.

Otro problema que tienen es la elevada temperatura que alcanzan, lo que obliga a tomar precauciones para evitar quemaduras si se manipulan encendidas. Asimismo, debe evitarse tocar la ampolla de una de ellas con los dedos, ya que la grasa presente en la piel al calentarse puede dañar (desvitrificar) el cuarzo hasta el punto incluso de destruir la lámpara. Actualmente numerosas lámparas halógenas llevan otra ampolla de cristal sobre la propia, permitiendo así su manipulación.

Respecto al consumo de energía eléctrica en comparación con un foco incandescente convencional, las lámparas halógenas disponen de una doble duración y una mayor eficacia, por ejemplo la gama ENERGY SAVER de OSRAM, uno de los mayores fabricantes de lámparas del mundo, tienen un consumo de energía aún más eficiente, con un ahorro desde el 30% hasta el 65%.

En el Ecuador este tipo de lámparas no se comercializa a nivel de uso en hogares y a pesar de que los grandes fabricantes ofrecen una línea de productos a este sector de mercado, usan un voltaje nominal de 230/240V no usados normalmente para iluminación en el país y una línea de 12V.

Aún así la línea de 230/240V es perfectamente usable con dimmers convencionales pero no es acoplable al presente proyecto que está diseñado para funcionar a 120V.

Otro tipo de tecnología, la más reciente y una de las más novedosas en el mercado internacional es la iluminación a través de diodos emisores de luz o LED, este sistema como su nombre lo indica, se basa en pequeños puntos luminosos que necesitan una décima parte de la energía de una lámpara fluorescente para entregar la misma luminosidad. Uno de los principales avances tecnológicos de las

luminarias LED, y que es una de las razones de su bajo consumo energético, es que no producen calor, lo cual en otros tipos de lámpara se paga en electricidad.

Una de las ventajas de las luces LED es su vida útil, que alcanza las 100.000 horas seguidas o 10 años, durante estos años las luces pueden variar un poco en su intensidad, pero esto es casi imperceptible. Las luminarias LED se pueden encontrar en versiones blancas y también en colores que llegan a 12.8 millones de tonos diferentes que pueden coordinarse por computadora, además, son una opción de bajo consumo para reemplazar a las luces incandescentes y fluorescentes, aunque todavía se trata de una tecnología muy costosa por su poca inserción en el mercado y por su novedad. Una lámpara LED puede llegar a tener precios de hasta 10 veces una lámpara fluorescente o que un halógeno convencional.

Sin duda, las luces LED aún no están listas para uso residencial por su alto costo inicial.

Debido a que los LEDs son diodos emisores de luz que trabajan en condiciones particulares y con corriente directa, es indispensable utilizar un controlador que proporcione los valores de voltaje y corriente necesarios para su operación; de manera complementaria

los controladores también generan diversos impulsos que se reflejan en el funcionamiento de los equipos alimentados.

Este tipo de dispositivos que permitirían controlar las luminarias hechas con LEDs se encuentran en fase de desarrollo, por ejemplo la empresa Philips ha mostrado algunas soluciones entre ellas el Convertidor AC/DC para luminarias con LED basado en el integrado SSL1523 que le permite controlar la intensidad de la luminaria a través de dimmers convencionales.

En el momento que estas soluciones se masifiquen y comercialicen en el país, el presente proyecto podría acoplarse directamente a estas luminarias. Con un estudio de la linealidad de las luminarias LED respecto a los cambios de voltaje eficaz de alimentación, una actualización del firmware, específicamente del manejo de los cambios de paso para aumentar y disminuir la intensidad (ver capítulo 3.6 y 3.9) sería necesaria para mejorar la respuesta al control de intensidad debido a las diferencias entre los focos incandescentes y LEDs.

CAPÍTULO 2

2. BASES TÉCNICAS DEL PROYECTO

En el presente capítulo se describen las herramientas y/o tecnologías utilizadas en el desarrollo del proyecto.

2.1. Comunicación por Infrarrojos

La radiación infrarroja es una radiación electromagnética no visible cuya longitud de onda se encuentra cercana a la luz visible justamente un tanto mayor al color rojo de allí su nombre.

Todos los objetos emiten radiación infrarroja por su caracterización energética en un intervalo de longitudes de onda amplio de 750nm a 1mm, pero sólo una región específica de este intervalo es usada para la comunicación por infrarrojos.

Los enlaces infrarrojos se encuentran limitados por el espacio y los obstáculos. El hecho de que la longitud de onda de los rayos infrarrojos sea tan pequeña, hace que no pueda propagarse de la misma forma en que lo hacen las señales de radio.

Actualmente esta tecnología es usada en aplicaciones militares, medicina, industria, meteorología, ecología, agricultura, química entre otras disciplinas. Por ejemplo, satélites destinados a la medición del clima obtienen imágenes de patrones de nubes, tormentas, etc, a partir de radiación infrarroja o en el diagnóstico de enfermedades como el cáncer en la medicina.

2.1.1. Banda de Operación y Diversidad de Protocolos

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE) divide el ancho del espectro infrarrojo en tres bandas principales:

- IR-A: 700 nm–1400 nm
- IR-B: 1400 nm–3000 nm
- IR-C: 3000 nm–1 mm

Infrarrojo cercano (IR-A).- Comúnmente usado en comunicaciones por fibra óptica debido a la baja atenuación

que sufre en el vidrio y en dispositivos con unidad de control remoto.

Infrarrojo medio (IR-B).- Usado en aplicaciones de telecomunicaciones y en obtención de imágenes.

Infrarrojo lejano (IR-C).- Utilizado en aplicaciones de espectroscopía y medicina, detección de explosivos y sustancias químicas tóxicas.

La luz infrarroja de las unidades de control remoto se encuentra entre los 850 y 980nm que caen dentro del infrarrojo cercano.

Con respecto a la señal desde el punto de vista eléctrico, es modulada por el emisor para permitir al receptor distinguir entre la señal de interés y el ruido generado por cualquier material emisor de calor. Existen diferentes técnicas de modulación y codificación siendo las más usadas las siguientes:

- i. Modulación de Amplitud (OOK) *On-Off Keying*
- ii. Modulación de Frecuencia (FSK) *Frequency Shift Keying*
- iii. Banda Base (Distancia entre Pulsos)

Modulación de Amplitud.- Es una de las técnicas más simples y antiguas donde la trama de datos se transmite en forma de pulsos a determinada frecuencia, separados por espacios de tiempo donde no se genera ninguna señal. El receptor es sintonizado a una determinada frecuencia (frecuencia central) y el ruido restante que se haya podido recibir es retirado por un filtro pasa-banda. En el mercado se puede encontrar receptores integrados que se encargan de realizar estas tareas por sí solos de diferentes fabricantes como el de Radio Shack que utilizado en el presente proyecto.

Los sistemas por modulación de amplitud usan diferentes métodos de codificación, los más utilizados son mencionados a continuación:

Codificación por Distancia entre Pulsos.- La distancia entre pulsos define si se transmite un “1” o un “0” mientras que el tiempo de duración de los pulsos permanece constante.

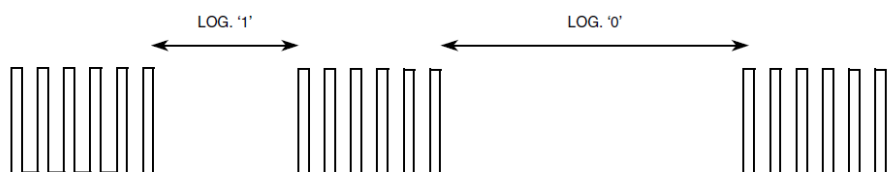


Fig. 2.1 Codificación por distancia entre pulsos

Este protocolo es mayormente usado por compañías japonesas como NEC, la trama de datos está compuesta por 8 bits para dirección, 8 bits para la dirección negada, 8 para el comando, y 8 finales para el comando negado, la razón para enviar los bytes de dirección y comando negados es estrictamente para corrección de errores.

La trama comienza con un tren de pulsos de 9ms y un espacio de 4.5ms que se conoce como pulso de inicio, y finaliza con tren de pulsos de 560us.

El bit “1” es denotado por un tren de pulsos de 560us seguido por un espacio de 1690us mientras que el “0” por un tren de pulsos de 560us seguido por un espacio de 560us. La frecuencia de portadora es de 38KHz.

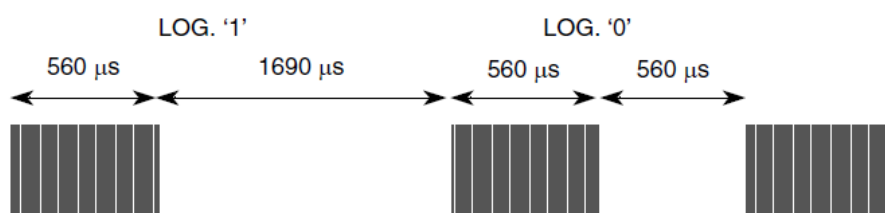


Fig. 2.2 Codificación de bit del protocolo NEC

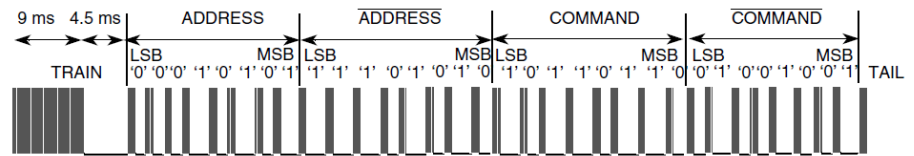


Fig. 2.3 Estructura de la trama de datos del protocolo NEC

La función de autorepetición (cuando se mantiene presionado un botón) para este protocolo es manejada por tramas donde no constan los datos inicialmente enviados, sino mas bien una trama de datos definida por un tren de pulsos de 9ms, un espacio de 2.25ms, un tren de pulsos de 560us y un espacio complementario que complete los 110ms de la duración de la trama.

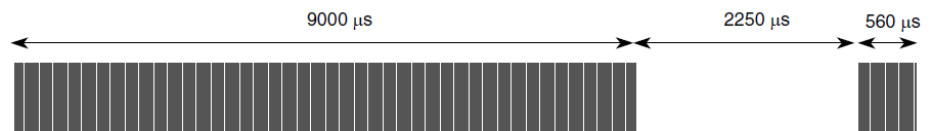


Fig. 2.4 Estructura de la trama de autorepetición del protocolo NEC

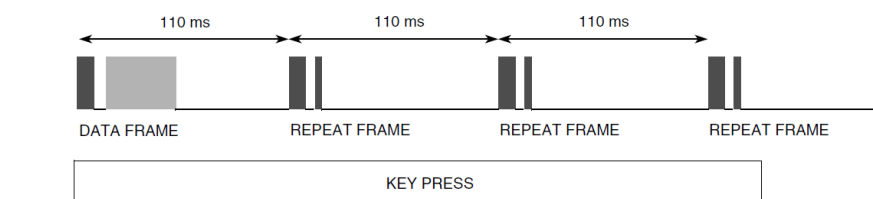


Fig. 2.5 Secuencia completa de la trama de autorepetición de NEC

Codificación por Ancho de Pulso.- El ancho del pulso define si se transmite un “1” o un “0” mientras que la distancia entre pulsos permanece constante.

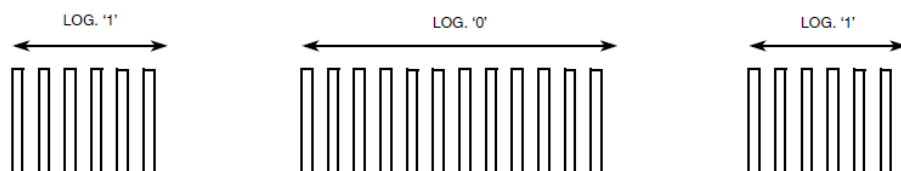


Fig. 2.6 Codificación por ancho de pulsos

Este tipo de codificación fue creado por la empresa SONY, debido a la facilidad en la decodificación fue seleccionado para el presente proyecto por lo que su explicación se la hará en el subcapítulo siguiente.

Codificación Manchester.- En esta codificación el bit está conformado siempre por dos niveles de igual duración, su publicación inicial indica que la transición del nivel bajo al nivel alto (de la ausencia a la presencia de los pulsos) denota un “0”, lo contrario un “1”.

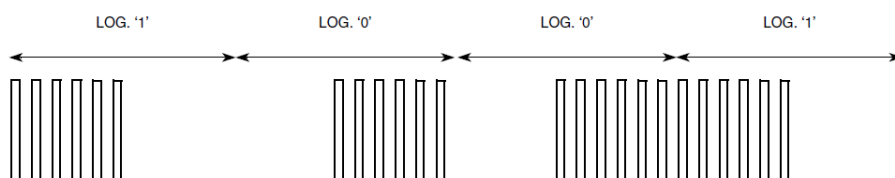


Fig. 2.7 Codificación manchester en su publicación inicial

Posteriormente según la convención IEEE 802.3 la transición de bajo a alto denota un “1” y lo contrario un “0”.

El ejemplo más usado de esta codificación es el protocolo RC5 creado por la empresa Philips. La trama de datos consiste de 5 bits para dirección y 6 bits para comando precedidos por el segmento de inicio.

El segmento de inicio está conformado por la combinación de bits “11” S1 y S2 según la Fig. 2.9 más un bit de cambio T que alterna entre “1” y “0” por cada vez que se presiona una tecla de la unidad de control remoto. Este bit sirve para diferenciar cuando el control remoto está enviando tramas por autorepetición o por pulsaciones simultáneas de las teclas de la unidad.

El bit “1” se encuentra denotado por un cambio de bajo a alto con una duración de 889us tanto el espacio como el tren de pulsos, mientras que el bit cero por un cambio de alto a bajo con la misma duración de tiempo para el tren de pulsos y el espacio.

La frecuencia de portadora es de 36KHz.

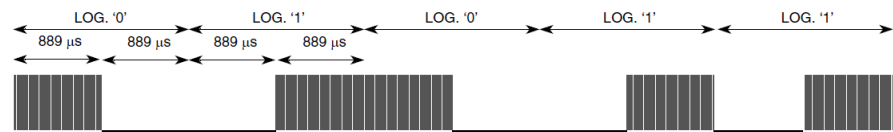


Fig. 2.8 Codificación de bit del protocolo RC5

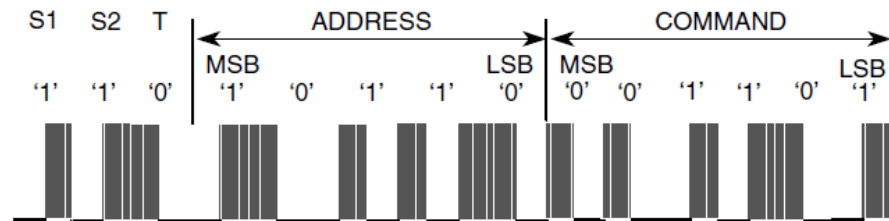


Fig. 2.9 Estructura de la trama de datos del protocolo RC5

La función de autorepetición para este protocolo se define como la repetición de la misma trama de 114ms de duración, una tras otra y con el mismo bit de cambio T.

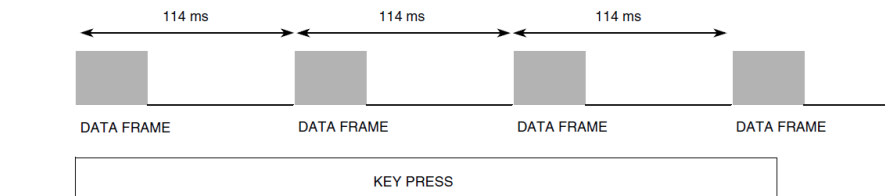


Fig. 2.10 Secuencia completa de la trama de autorepetición de RC5

Modulación de Frecuencia.- La modulación por frecuencia usa diferentes valores de frecuencia para los pulsos para denotar cada nivel lógico. Usualmente se elimina el uso de espacios entre pulsos. Este método no es actualmente utilizado debido a la complejidad de su demodulación y a la baja

eficiencia en términos de consumo de energía en el lado del transmisor.



Fig. 2.11 Codificación FSK

Banda Base.- La transmisión en banda base no usa ningún tipo de modulación, mas bien pulsos cortos en el orden de las decenas de microsegundos que son transmitidos entre los espacios de tiempo que denotan los niveles lógicos. Este método es muy efectivo en términos de consumo de energía pero más complejo en la decodificación debido a que el ruido puede conducir a la lectura de pulsos falsos.

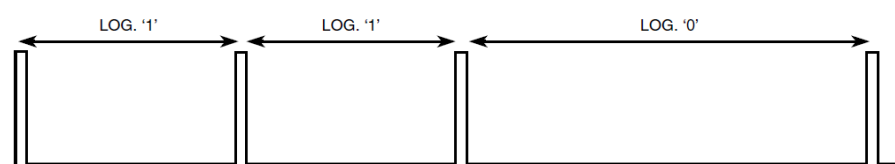


Fig. 2.12 Codificación por distancia entre pulsos

Esta codificación se ve implementada en el protocolo de la empresa ITT que lleva el mismo nombre. La trama de datos consiste en 4 bits para dirección y 6 para comando precedidos por un pulso de cabecera seguido de un espacio de 300us y un

pulso de inicio equivalente a un bit “0”. Al fin de la trama de adhiere un espacio de 200us un pulso de terminación.

El bit “1” se encuentra conformado por un pulso seguido de un espacio de 200us mientras que el bit “0” por un pulso seguido de un espacio de 100us.

Todos los pulsos tienen una duración de 10us.

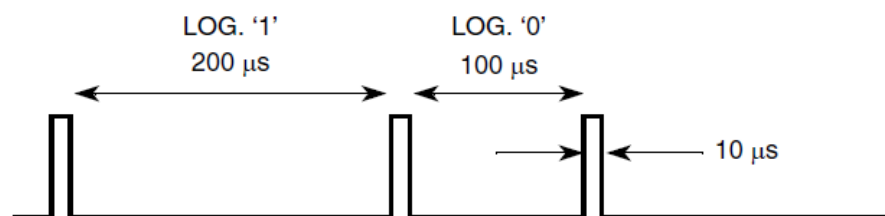


Fig. 2.13 Codificación de bit del protocolo ITT

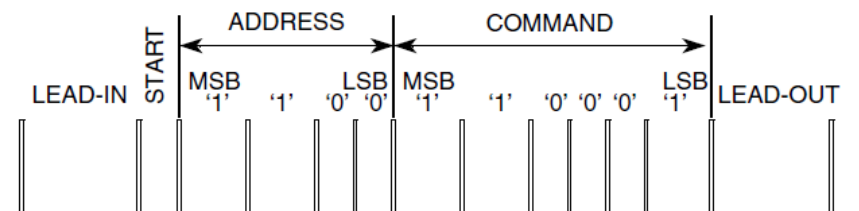


Fig. 2.14 Estructura de la trama de datos del protocolo ITT

La función de autorepetición para este protocolo se define como la repetición de la misma trama de 130ms, una tras otra como se puede visualizar en la siguiente figura.

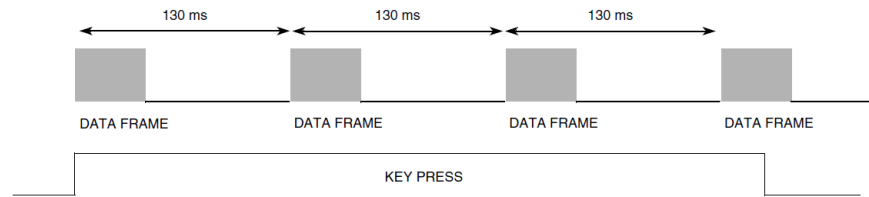


Fig. 2.15 Secuencia completa de la trama de autorepetición de ITT

2.1.2. Especificaciones del protocolo SONY IR

Las señales transmitidas según el protocolo SONY IR también conocido como SIRC se caracterizan por ser de nivel TTL en banda base. Existen versiones de 12 bits, 15 bits y 20 bits. Todas 3 constan de un campo inicial que es el bit de inicio y dos palabras una para comando y otra para la dirección o dispositivo.

Dentro de la trama de datos cada palabra es leída desde el bit menos significativo hasta el bit más significativo como se puede ver en la siguiente figura:

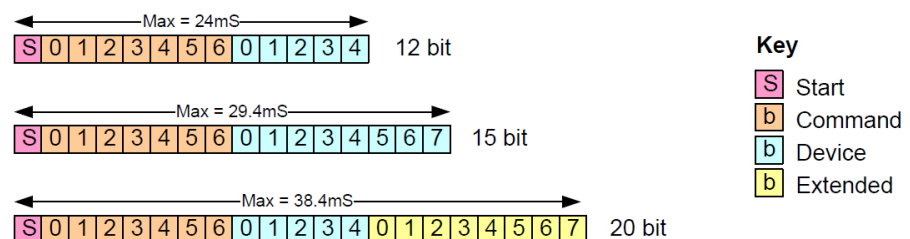


Fig. 2.16 Versiones del protocolo SIRC

La versión utilizada actualmente es la de 12 bits.

El protocolo SONY IR usa una codificación de bits basada en ancho de pulso. La trama de datos consta de 7 bits para comando y 5 para la dirección precedidos por un tren de pulsos de 2.4ms y un espacio de 600us. El bit "1" está denotado por un tren de pulsos de 1200us seguido de un espacio de 600us mientras que el "0" por un tren de pulsos de 600us seguido de un espacio de 600us. La frecuencia de la portadora es de 40KHz.

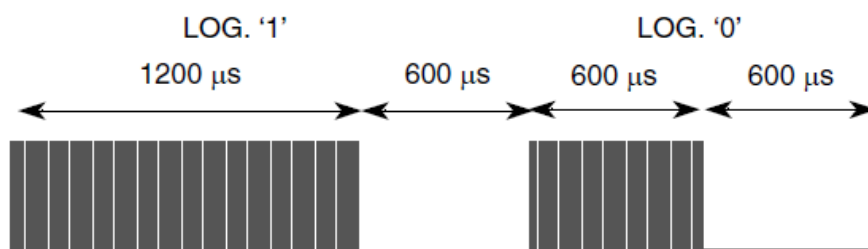


Fig. 2.17 Codificación de bit del protocolo SIRC

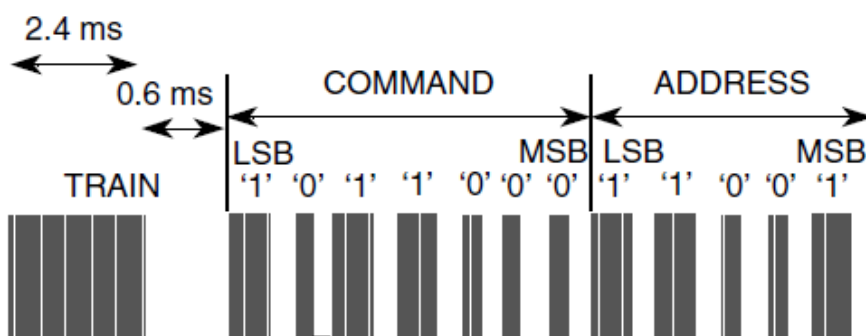


Fig. 2.18 Estructura de la trama del protocolo SIRC

La función de autorepetición para este protocolo se define como la repetición de la misma trama de 45ms de duración una tras otra. Para completar estos 45ms se hará uso de un espacio adicional o tiempo muerto a continuación del último bit enviado.

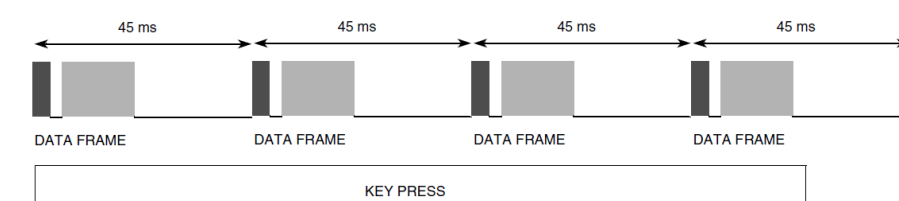


Fig. 2.19 Secuencia completa de la trama de autorepetición de SIRC

En el presente proyecto se empleará la codificación de SIRC con una dirección equivalente al dispositivo de VCR Betamax aprovechando que actualmente no son usados.

Sin embargo una actualización del firmware específicamente del módulo programado “Decodificador de IR” (ver figura 3.1) permitiría reusar la dirección de otro dispositivo e inclusive otro protocolo como los vistos en el presente capítulo.

La dirección VCR Betamax de SIRC en hexadecimal es de 0x02 y los códigos de programación de la unidad de control remoto para esta dirección varían entre fabricantes.

Los comandos de las teclas de la unidad de control remoto utilizadas en el presente proyecto son las siguientes:

Comando	Código Hexadecimal
Power	0x15
1	0x00
2	0x01
3	0x02
4	0x03
5	0x04
6	0x05
7	0x06
8	0x07
9	0x08
0	0x09
Ch+	0x10
Ch-	0x11
Display	0x5A
Stop	0x18
Pausa	0x19
Fwd (>>)	0x1C
Rev (<<)	0x1B

Tabla 2.1 Comandos del protocolo SIRC

2.1.3. Especificaciones del Módulo Receptor de IR de Radio

Shack

El módulo receptor de IR usado en el presente proyecto corresponde a un RADIOSHACK con número de parte 276-640.

Este módulo está diseñado para trabajar con longitudes de onda de $940\pm 50\text{nm}$.

Posee una frecuencia central de 38KHz, aunque el protocolo SIRC requiere de 40KHz la atenuación de la señal relativa a esta pequeña desviación de frecuencia es fácilmente manejable.

A pesar de que RADIOSHACK no crea hojas de datos de todos sus productos, los fabricantes de estos módulos (Vishay, Siemens, Everlight, Sharp, entre otros) usan un esquema estándar para el diseño de estos integrados, con un diagrama de bloques similar al siguiente:

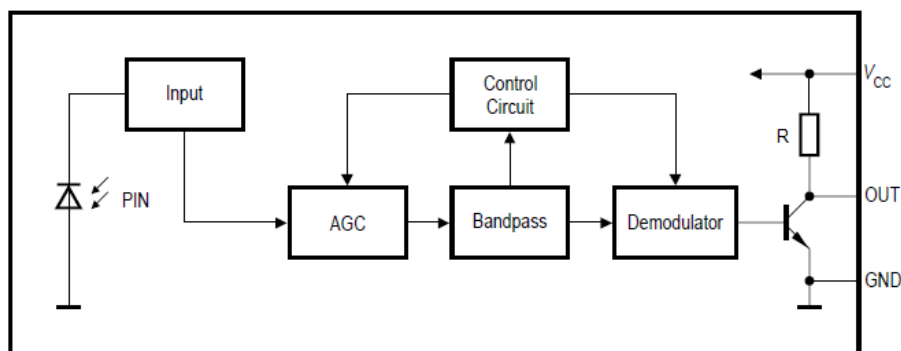


Fig. 2.20 Diagrama de bloques de un receptor IR integrado

De acuerdo al diagrama el receptor está conformado por un bloque de entrada que se encarga principalmente de eliminar

cualquier voltaje DC inducido en el fotodiodo y de convertir la señal de corriente del fotodiodo a voltaje para poder ser manipulada por el resto del circuito.

El bloque de Control de Ganancia Automática (AGC por sus siglas en inglés) tiene la funcionalidad de asegurar que el receptor sea inmune a señales de ruido o perturbaciones externas. En ambiente oscuro el AGC configura la ganancia del circuito al valor mayor posible ya que no existen señales perturbadoras, mientras que en presencia de muchas fuentes de luz o calor disminuye la ganancia de señales perturbadoras y permite el paso únicamente a las señales de interés, esto lo logra tomando en cuenta criterios como el tamaño del tren o ráfaga de pulsos (burst length) y los tiempos de duración de los espacios entre estas ráfagas de pulsos (signal gap time).

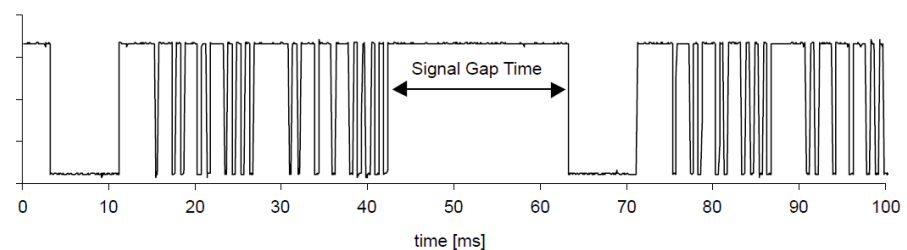


Fig. 2.21 Señal de Salida de un receptor con un intervalo entre pulsos de 20ms

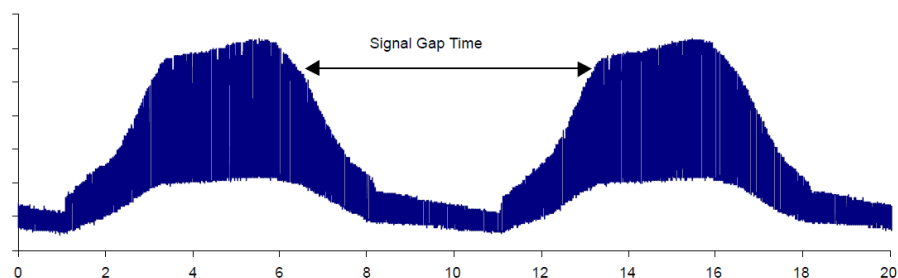


Fig. 2.22 Señal perturbadora de una lámpara fluorescente con un intervalo entre ráfagas de pulsos de 7ms.

En el ejemplo de las figuras anteriores propuesto por VISHAY y sus receptores series TSOP18 se requiere un mínimo de tamaño de ráfaga de pulsos de 6 ciclos por ráfaga, en este caso cumplidos por ambas señales, mientras que respecto al intervalo entre ráfagas se debe cumplir un mínimo de 15ms por cada 90ms durante la transmisión, condición cumplidas únicamente por la señal de la figura 2.21 que es la de interés.

Las lámparas fluorescentes emiten luz infrarroja a intervalos entre ráfagas de pulsos muy pequeños lo que asegura su fácil diferenciación con otras señales.

Respecto al bloque de filtro pasa-banda, el módulo receptor de RADIOSHACK utilizado está diseñado para permitir señales de 38KHz con una frecuencia de corte de $\pm 3\text{KHz}$ la frecuencia

central por lo que los 40KHz del protocolo SIRC se hacen manejables.

El bloque demodulador se encarga de eliminar la frecuencia central para obtener estrictamente la señal de interés y el transistor de colector abierto le proporciona un mayor manejo de corriente a la señal de salida la cual se verá invertida.

Otras características del módulo receptor son:

- Inmune a señales perturbadoras provenientes del Sol, focos incandescentes, lámparas fluorescentes y toda luz infrarroja que se propagase de forma continua (intervalo entre ráfagas de pulsos pequeño)
- Compatibilidad para circuitos CMOS y TTL
- Bajo consumo de energía

Se debe tomar en cuenta que la inmunidad a señales perturbadoras ofrecida afecta en parte también a la señal recibida en cuanto a la responsividad del fotodiodo integrado del módulo receptor.

2.2. Prestaciones del Microcontrolador PIC16F886

El PIC16F886 es un microcontrolador de la gama media fabricado por la empresa MICROCHIP. Su elección se debe a las siguientes características que son muy importantes en el desarrollo del proyecto:

- Posee un oscilador interno de precisión con frecuencia configurable de 8MHz a 31KHz lo que permite evitar componentes externos para este fin, ahorrando espacio que es un punto muy importante en el diseño del producto final.
- Modo dormido mejorado para un ahorro mayor en el consumo de energía.
- Inclusión de 3 puertos para entrada/salida lo que ofrece la cantidad de pines suficientes para llevar a cabo la implementación.
- Memoria EEPROM de 256 bytes para almacenar el direccionamiento de las luminarias y los grupos o escenas creadas.
- Capacidad de hardware para depuración de código en el circuito real (in-circuit debbuger) lo que permite corregir eficientemente las líneas de programa y detectar errores de una manera más rápida durante el diseño del firmware.

- Manejo de múltiples fuentes de interrupción controladas bajo un solo vector lo que permite dar servicio a ciertas rutinas críticas en el momento justo y evitar retrasos que impidan el funcionamiento óptimo del sistema.
- Dos temporizadores de 8 bits con pre-escaladores configurables para la implementación del manejo de la recepción de comandos de la unidad de control remoto y control PWM de una de las cargas.
- Un temporizador de 16 bits configurable como un módulo comparador dual, característica aprovechada para controlar las dos cargas restantes vía PWM con un solo temporizador.

2.3. Prestaciones del Software CCS PCWH

El compilador usado en este proyecto es el PCWH de la empresa Custom Computer Services INC (CCS) con soporte para las series PIC10, PIC12, PIC14, PIC16 y PIC18 de MICROCHIP y lenguaje de programación C, sus características o prestaciones importantes en la presente implementación son las siguientes:

- Manejo de palabras de 8, 16 y 32 bits lo que evita múltiples declaraciones de variables y creación de rutinas por parte del programador para la manipulación de variables de más de 8 bits.

- Organización de interrupciones por código según la fuente lo que optimiza el mantenimiento del programa.
- Fácil integración del compilador con el software MPLAB para uso del depurador de código en circuito real con el programador de microcontroladores PICKIT 2.
- Librerías pre-programadas con funciones para el manejo de tareas comunes, acceso a puertos, configuración de temporizadores, lectura y escritura de la EEPROM, entre otras y librerías estándares del lenguaje C.
- Plugin para MATLAB para la auto-generación de código ASM, característica importante en la depuración del código fuente.
- Uso eficiente y mejorado de la RAM, ROM y la pila del microprocesador en relación con otros compiladores.
- Manejo de múltiples páginas de código para una mejor organización y buenas costumbres de programación.
- Inserción fácil de código ASM en cualquier parte del programa en lenguaje C.
- Manejo de variables locales y globales.
- Configuración y generación automática de la palabra o palabras de configuración del PIC.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DETALLADO DEL SISTEMA

En el presente capítulo se detallará el proceso del diseño del sistema, se tomará en cuenta el siguiente diagrama de bloques:

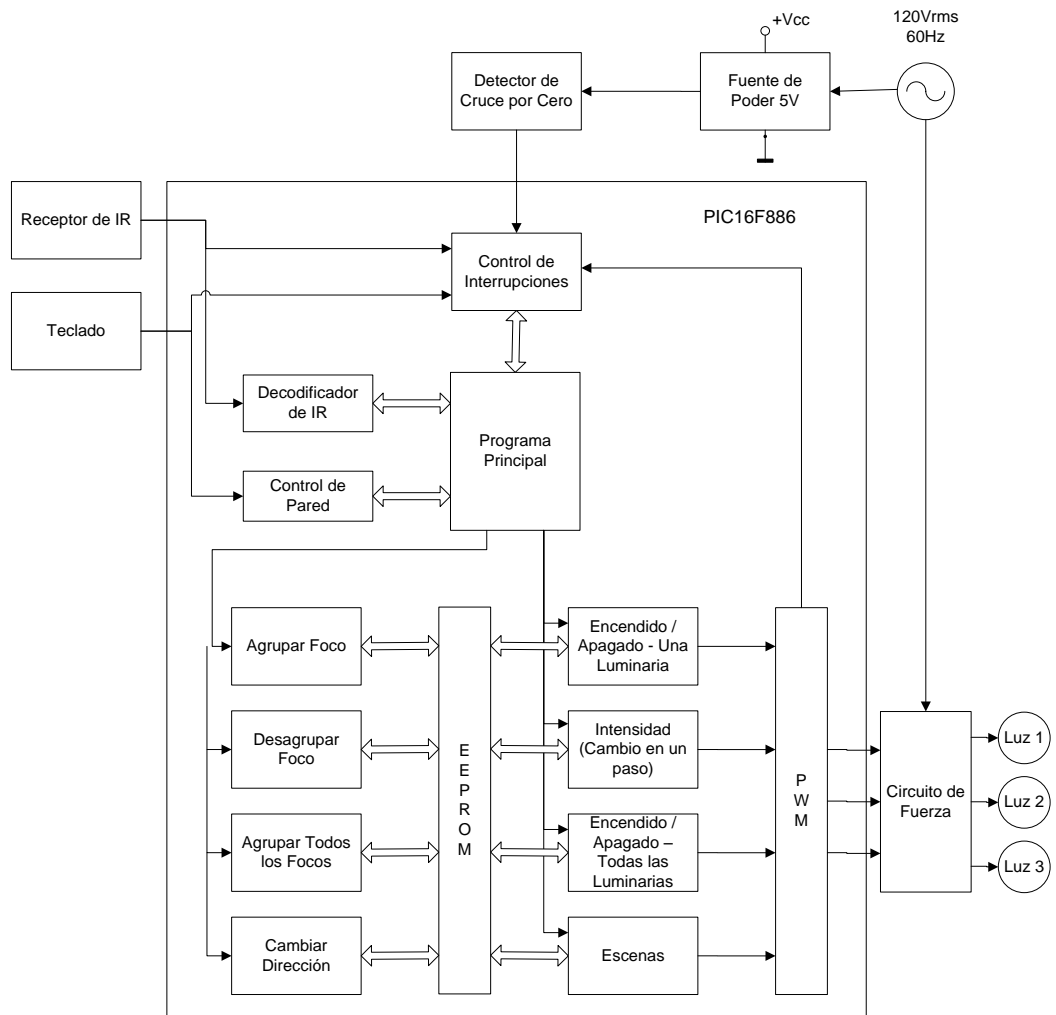


Fig. 3.1 Diagrama de bloques del sistema

3.1. Fuente de Poder

Se configuró la fuente mostrada en la siguiente figura.

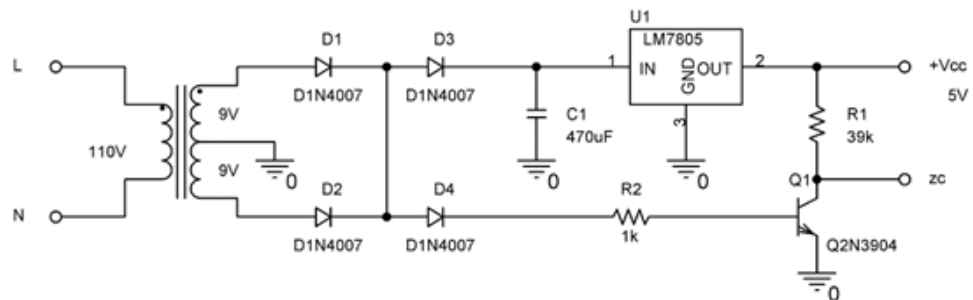


Fig. 3.2 Esquemático de la fuente de poder y circuito detector de cruce por cero

La fuente está conformada por el transformador, componentes rectificadores D1 y D2, el capacitor C1 y el regulador integrado LM7805.

Para su diseño con 5V a la salida se ha considerado dimensionar el transformador a 9V y un valor de capacitancia de 470uF para asegurar que el regulador opere en zona lineal, lo cual se demostrará a continuación.

El voltaje máximo del capacitor C1 (V_{max}) está dado por:

$$V_{max} = 9\sqrt{2} - 0.7 - 0.7$$

$$V_{max} = 11.32V$$

Para el cálculo del voltaje mínimo se ha considerado una demanda de corriente máxima de 100mA que es aproximadamente el doble del requerido por el circuito, y además el siguiente gráfico:

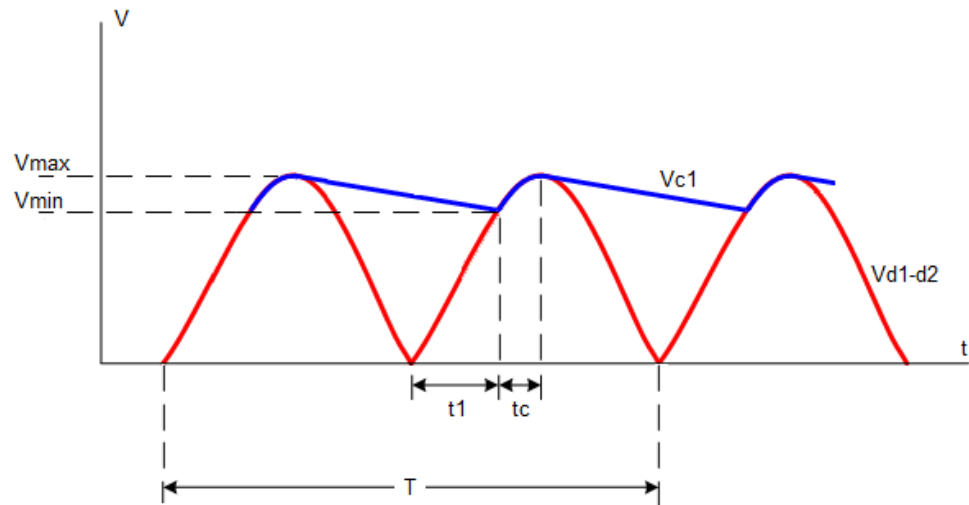


Fig. 3.3 Formas de onda del voltaje del capacitor y onda rectificada de la fuente de poder

Donde t_1 es el tiempo que le toma a la onda sinusoidal alcanzar el valor de voltaje mínimo del capacitor (V_{min}), t_c el tiempo de carga del capacitor y T el período de la onda sinusoidal sin rectificar.

De aquí que:

$$t_1 = \frac{T}{4} - t_c \quad (3.1)$$

$$t_d = \frac{T}{2} - t_c \quad (3.2)$$

$$V_{max} \sin \omega t_1 = V_{min} \quad (3.3)$$

$$V_{max} e^{-t_d/\tau} = V_{min} \quad (3.4)$$

Reemplazando 3.1 en 3.3 y 3.2 en 3.4 se obtiene:

$$V_{max} \sin \omega \left(\frac{T}{4} - t_c \right) = V_{min} \quad (3.5)$$

$$V_{max} e^{\frac{t_c - \frac{T}{2}}{\tau}} = V_{min} \quad (3.6)$$

Combinando estas dos últimas ecuaciones se obtiene la siguiente:

$$\sin \omega \left(\frac{T}{4} - t_c \right) - V_{max} e^{\frac{t_c - \frac{T}{2}}{\tau}} = 0 \quad (3.7)$$

Usando MATLAB para resolver esta ecuación no lineal se consigue que:

$$t_c = 1.8ms$$

$$t_d = 6.53ms$$

$$V_{min} = 8.57V$$

Tomando en cuenta que para que el regulador opere en zona lineal necesita como mínimo 2V entre sus pines de entrada y salida, se verifica que:

$$V_{min} - 5V > 2V$$

Lo cual se cumple por lo tanto la fuente opera en óptimas condiciones para el peor de los requerimientos de corriente.

Considerar por un momento dimensionar el transformador a 6V que es el valor comercial inmediatamente inferior. Se obtiene que:

$$V_{max} = 6\sqrt{2} - 0.7 - 0.7$$

$$V_{max} = 7.08V$$

Como se puede observar este valor hará operar al regulador con su mínimo voltaje requerido entre sus pines de entrada y salida, pero cuando el valor de voltaje en el capacitor se reduzca a su mínimo, el regulador dejará de funcionar.

Por tanto el valor comercial mínimo requerido para la fuente es el de 9V.

3.2 Detector de Cruce por Cero

A fin de lograr sincronización entre el voltaje de línea y el módulo PWM para el control de intensidad, es necesaria la implementación de un circuito que indique el momento en el que la onda del voltaje de línea cruza por 0V.

En referencia a la figura 3.2, el circuito detector de cruce por cero está conformado por D4, R1, R2 y Q1.

Se ha permitido la colocación de un diodo adicional entre el rectificador y el capacitor de la fuente de modo que no se pierda la onda sinusoidal rectificada que es necesaria a la entrada del detector.

El funcionamiento de este circuito es el siguiente, cuando la onda es un tanto mayor que cero el transistor Q1 se satura obteniendo en la salida "zc" un voltaje aproximadamente igual a cero. De lo contrario, cuando la onda es muy cercana a cero, el transistor se abre permitiendo a la salida un pulso momentáneo a 5V, como se observa en la siguiente figura:

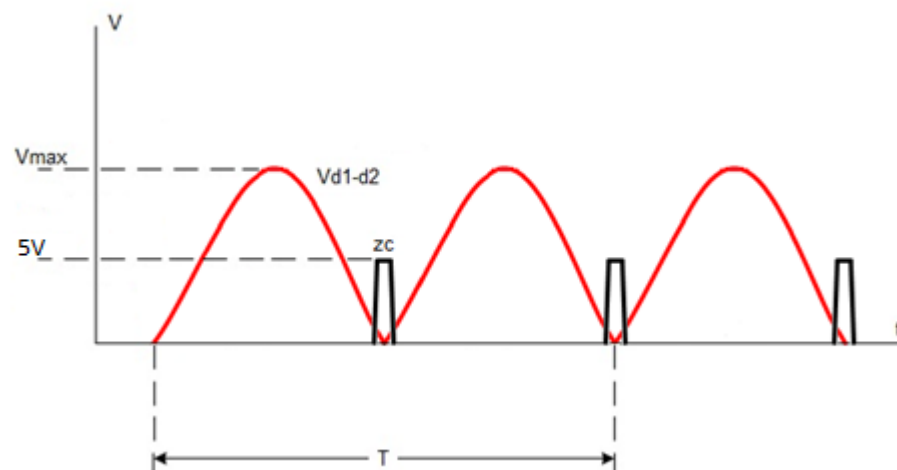


Fig. 3.4 Formas de onda del cruce por cero y de la onda rectificada de la fuente de poder

Esto se consigue de la siguiente manera:

$$i_b = \frac{V_{rect} - 1.4}{R2}$$

$$i_c = \beta \frac{V_{rect} - 1.4}{R2}$$

$$V_{zc} = V_{CC} - i_c R1$$

$$V_{zc} = V_{CC} - \beta \frac{V_{rect} - 1.4}{R2} R1$$

Donde i_b , i_c son las corrientes de base y colector del transistor Q1 respectivamente, V_{zc} el voltaje de salida del detector y V_{rect} la onda de línea rectificada.

Si se considera el límite en que Q1 se satura como $V_{zc} \approx 0$, se obtiene entonces una ecuación de 3 incógnitas $R1$, $R2$ y V_{rect} . Sin embargo se debe tomar en cuenta que el valor de voltaje de V_{rect} para el cual Q1 se satura debe ser lo más pequeño posible. A continuación las ecuaciones:

$$V_{CC} = \beta \frac{V_{rect} - 1.4}{R2} R1$$

$$V_{rect} = \frac{R2}{\beta R1} V_{cc} + 1.4$$

De la última ecuación se deduce que $R1 \gg R2$. Ajustando los siguientes parámetros $R1 = 39K$, $R2 = 1K$ y $\beta = 150$ se obtiene que:

$$V_{rect} \approx 1.4V$$

Y además:

$$V_{rect} = 9\sqrt{2} \sin \omega t$$

$$\omega t = \sin^{-1} \frac{V_{rect}}{9\sqrt{2}}$$

$$\omega t = 6.3^\circ$$

De aquí se puede concluir que la señal de cruce por cero se activará 6.3° antes del verdadero cero y se desactivará en un valor de grados de igual magnitud luego del cero. Es una condición que se debe tomar en cuenta en el diseño del PWM posteriormente.

3.3. Control de Operación

El sistema cuenta con dos tipos de controles, el inalámbrico (control remoto) y el control de pared.

El control inalámbrico permitirá seleccionar entre cuatro tareas de uso y cuatro tareas de programación del dispositivo. A continuación se mencionará las tareas con sus respectivas combinaciones de teclas del control remoto. El tiempo de espera entre pulsaciones de teclas será de 3 segundos para cualquiera de las tareas a realizar.

Tareas de uso:

- 1) Encender / Apagar Foco.- El encendido y apagado de los focos se realizará usando una tecla de dígito seguida de la tecla power (Número + Power).

La tecla de dígito permitirá direccionar cada luminaria con lo que se diferenciará una de otra. Como valor de fábrica se establecerá los valores 1, 2 y 3 para los focos 1, 2 y 3 respectivamente aunque estos valores podrán ser fácilmente cambiados a cualquiera entre 1 y 9, para permitir controlar hasta un número de 9 focos con tres módulos funcionando en un mismo ambiente.

- 2) Control de Intensidad.- El control de intensidad se llevará a cabo con la tecla dígito (dirección del foco) seguida de la tecla Ch+ o Ch- (Número + Ch+/Ch-) dependiendo si se desea aumentar o disminuir el nivel de intensidad del foco seleccionado.

La tecla channel podrá ser usada con pulsaciones sucesivas o simplemente con una sola pulsación constante y duradera.

- 3) Encender Grupo o Escena.- Para encender una escena previamente guardada en la memoria del sistema se usará la tecla Play seguida del número de escena usado al momento de guardar (Play + Número). Se podrá contar hasta con un máximo de 10 escenas incluyendo el dígito 0.
- 4) Encender / Apagar Todas las Luces.- Con esta opción se permitirá encender o apagar todos los focos sin importar la dirección a la que pertenezcan, se lo hará con la combinación de teclas Play + Power.

Tareas de Programación:

- 5) Cambiar Dirección.- Para cambiar la dirección o número de foco de su valor de fábrica se lo hará con la combinación de teclas:

Display + Número (anterior) + Play + Número (nuevo)

Donde Número (anterior) corresponderá al dígito de dirección antiguo y Número (nuevo) a la nueva dirección de la luminaria. Aunque el sistema lo permita no es recomendable tener dos o

más luminarias con una misma dirección dentro del mismo ambiente, de ser así el sistema sólo enganchará a una de las luminarias y no a las demás.

- 6) Crear un Nuevo Grupo con Todos los Focos.- Con esta opción se detectará el nivel de intensidad actual de todas las luminarias inclusive si alguna está apagada y se guardará en la memoria EEPROM para su posterior activación. La combinación de teclas es la siguiente:

Display + Forward + Número (del grupo a crear)

Si el número de grupo a crear ya existe este se sobrescribirá con los nuevos valores de intensidad.

- 7) Agregar un Foco a un Grupo.- Si sólo se desea almacenar un número determinado de luminarias y no todas a un grupo para permitir que las otras no sean afectadas, se usará esta opción para agregar los focos uno a uno, con la siguiente combinación de teclas:

Display + Número (del foco) + Fwd + Número (del grupo)

- 8) Quitar Foco de un Grupo Existente.- Si por el contrario se desea excluir un foco de un grupo existente para que éste no sea afectado por la escena, se lo hará de la siguiente manera:

Display + Número (del foco) + Rev + Número (del grupo)

El retardo aceptado entre presionar una tecla y otra es de 3 segundos máximo. Caso contrario el sistema volverá al estado de reposo.

Como se puede observar la tecla display indica al sistema que potencialmente se ingresará a un modo de programación.

Además se ha incorporado el uso de la tecla Stop para regresar al estado de reposo sin realizar ninguna acción.

Se puede representar las operaciones programadas para el sistema en el siguiente árbol:

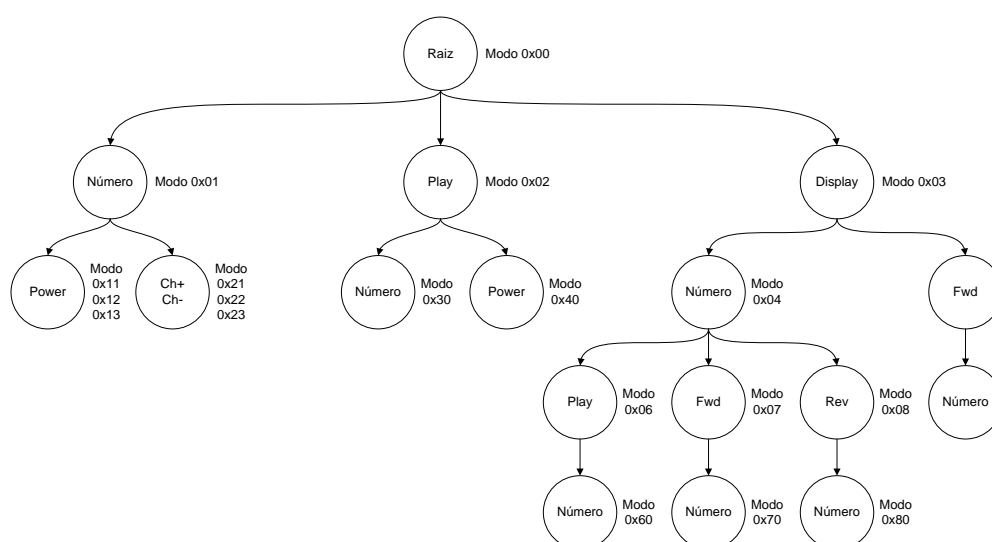


Fig. 3.5 Árbol de comandos

La variable modo será considerada como un arreglo de dos dígitos, el primero representará el modo en sí en el que se encuentra el sistema y el segundo un estado de transición en los nodos o el número de la carga (foco) en las hojas.

La raíz indica un estado de reposo o no recepción de código, se puede volver a este modo desde cualquier nodo presionando la tecla Stop o esperando 3 segundos luego de haber ingresado una tecla.

El recorrido del sistema por el árbol de comandos es ejecutado desde el programa principal.

Las tareas de programación se basan en acceso a la memoria EEPROM del dispositivo para lectura o escritura, se revisará en la sección control de escenas.

Las tareas de uso sí requieren una explicación individual y se verán más adelante.

El control de pared por su parte no hace uso del árbol de comandos, mas bien requiere un algoritmo de control más liviano, se verá en la explicación del programa principal.

3.4. Programa Principal

El programa principal se puede dividir en dos etapas, la etapa inicial que se encarga de la inicialización de las variables y periféricos del microcontrolador y de la espera por la activación de alguna tarea; y la etapa de la ejecución de una tarea en respuesta al servicio de una interrupción previa.

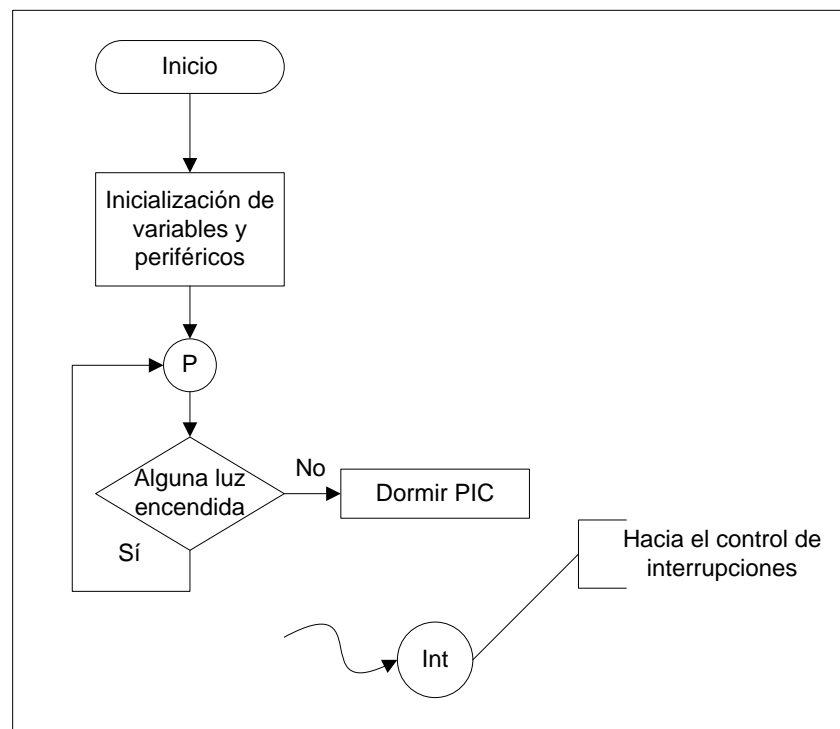


Fig. 3.6 Algoritmo de inicialización

En esta primera etapa se declaran e inicializan algunas variables globales del programa, éstas permitirán identificar ciertos controles importantes para el funcionamiento del sistema, también se

configuran los periféricos del microcontrolador como los puertos de entrada y salida y los temporizadores, comparadores, etc.

Seguidamente se preguntará si el sistema se encuentra controlando alguna carga, de ser así, a pesar de que el programa principal no tiene ninguna tarea que ejecutar, es necesario mantener al microcontrolador “despierto” puesto que el reloj de sistema y los temporizadores sí estarán activados y en funcionamiento. En caso contrario el microcontrolador pasará al estado conocido como “dormido” para garantizar un consumo mínimo de energía apagando todos sus periféricos.

Se puede llamar a este escenario “estado de espera”.

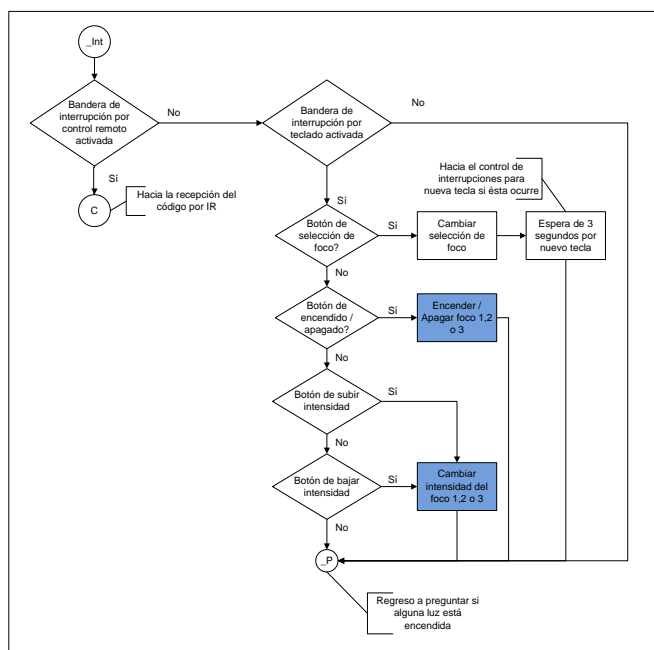


Fig. 3.7 Algoritmo de respuesta a interrupción del teclado

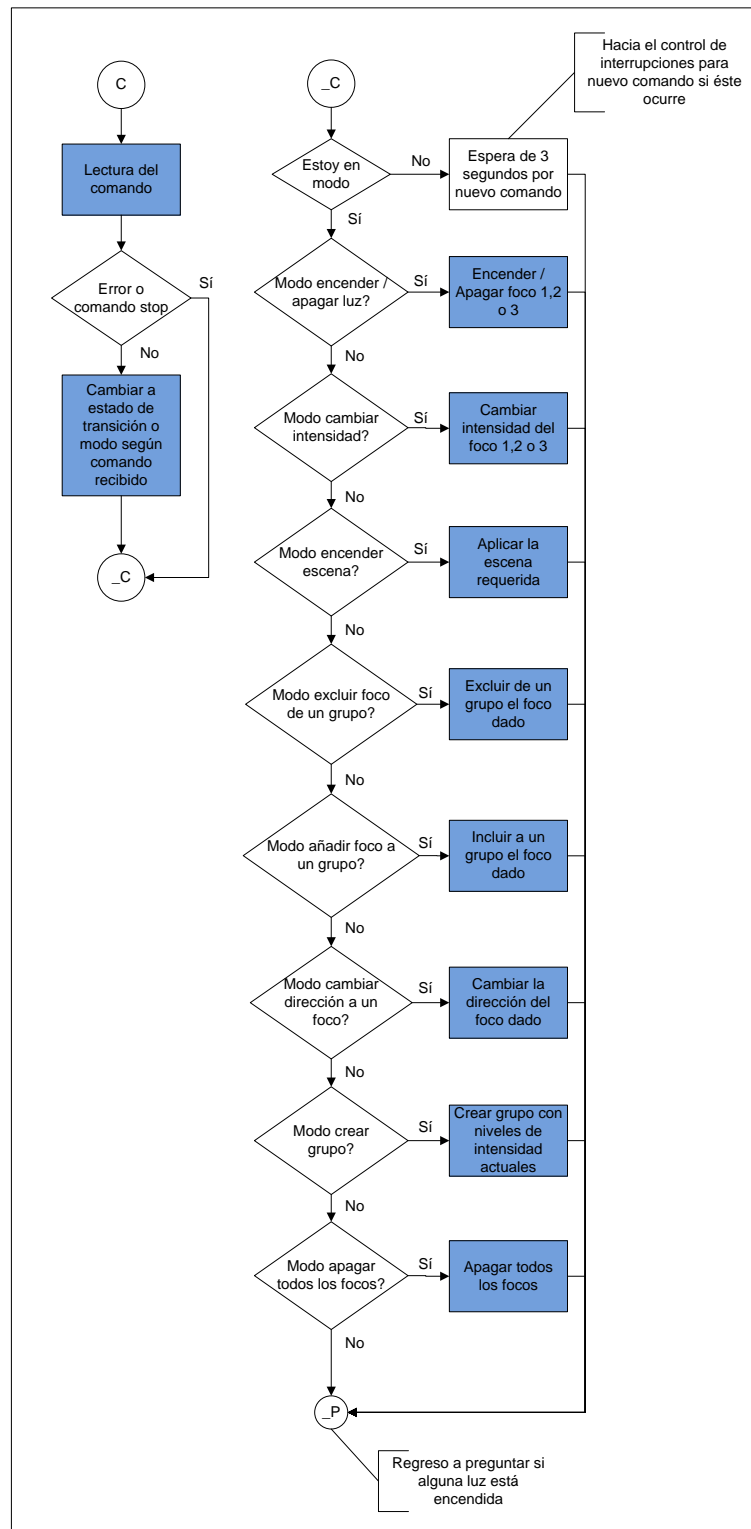


Fig. 3.8 Algoritmo de respuesta a interrupción del control remoto

La única forma de salir del estado de espera es mediante una interrupción. Una vez que ocurra, el programa saltará al control de interrupciones, que se verá más adelante, para luego regresar al programa principal. Es aquí cuando entra en acción la segunda etapa.

Esta segunda etapa se encarga de dar servicio a dos tipos de interrupciones que son, la recepción de comandos por medio del control remoto y la utilización del teclado para el control manual del sistema.

Cuando del control inalámbrico se trate, cada vez que se presione una tecla válida, el programa principal se ubicará en un nodo específico (estado de transición) y activará la espera por una nueva tecla.

Cuando el sistema se ubique en una de las hojas, es decir en un modo en concreto, inmediatamente pasará a ejecutar la tarea o acción correspondiente a dicho modo.

El control de la pared en cambio se gobernará con una tecla de selección de luminaria que indicará mediante leds a qué luminaria se está haciendo referencia. Una vez seleccionada la luminaria, el sistema permitirá encender / apagar, subir o bajar la intensidad del foco seleccionado con el uso de una tecla para cada operación.

El tiempo de espera entre presionar una tecla y otra del control de pared es igual a 3 segundos también.

Luego de esto el sistema regresará el estado de espera.

3.5. Control de Interrupciones

El módulo de control de interrupciones se encargará de administrar y en lo posible dar servicio a cada una de las interrupciones del sistema. Se cuenta con 4 tipos de interrupciones en total a ser gestionadas mediante un solo vector de interrupción. Son las siguientes:

- Cruce por cero de la onda de línea
- Activación de bandera de control del temporizador
- Lectura de comandos desde el control remoto
- Pulsación de tecla desde el control de pared

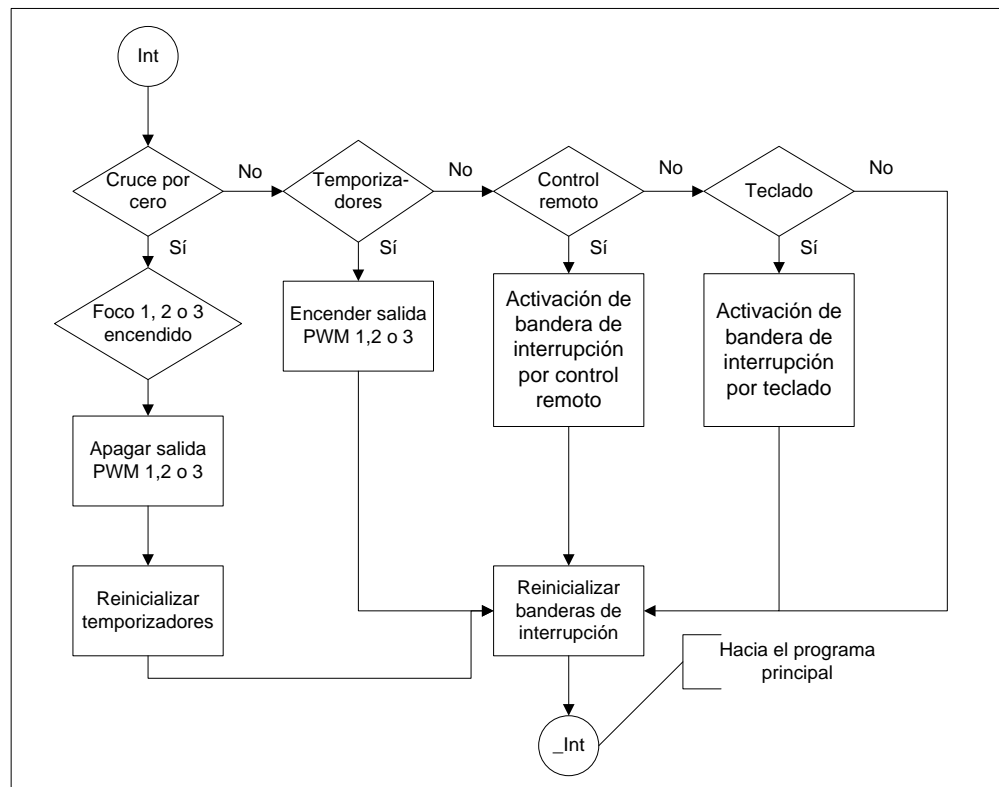


Fig. 3.9 Algoritmo de control de interrupciones

El cruce por cero y la acción de los temporizadores TMR0 y TMR1 constituyen elementos esenciales en la construcción del módulo PWM, el servicio a la interrupción de ambos debe ser de forma inmediata para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema (se discutirá en la sección “Módulo PWM”). Como se puede observar en el diagrama de flujo, el servicio a las interrupciones de cruce por cero y de los temporizadores está dado por instrucciones sencillas y de corta duración.

Ocorre diferente con el servicio de comandos del control remoto o uso del teclado ya que estos están relacionados con el encendido de luces, escenas, etc.

Cuando ocurran dos interrupciones por temporizadores a la vez. Tomando en cuenta que sólo hay un vector de interrupción y sólo se puede realizar un proceso a la vez se deberá atender primero a una y luego a la otra. Considerando la corta duración de cada una (orden de los microsegundos) no afectará en absoluto al desenvolvimiento del sistema.

Por el contrario si ocurre una interrupción de lectura de comandos del control remoto que toma algunos milisegundos y en este transcurso ocurre una de cruce por cero, no es posible esperar a terminar leer el código del comando del control remoto para luego dar servicio al cruce por cero, esto afectaría el funcionamiento del PWM y por tanto causaría intermitencias en los focos.

Para evitar que esto ocurra el control de interrupciones no dará servicio ni al control remoto ni al teclado, mas bien activará unas banderas para que estos servicios sean tratados desde el programa principal como se vió anteriormente.

3.6. PWM

El control de la intensidad de luz de los focos estará dado mediante el recorte de V_{rms} que reciben, esto se logra mediante el uso triacs y una señal de control que indique el momento en el que el triac debe dispararse y así dejar pasar el voltaje de línea a la carga. Esta señal de control será manejada por el PWM. La disposición del triac y el circuito de disparo característico serán explicados más adelante en la sección “Etapa de Fuerza”.

Para la explicación del módulo PWM se toma en cuenta el ejemplo de la siguiente figura:

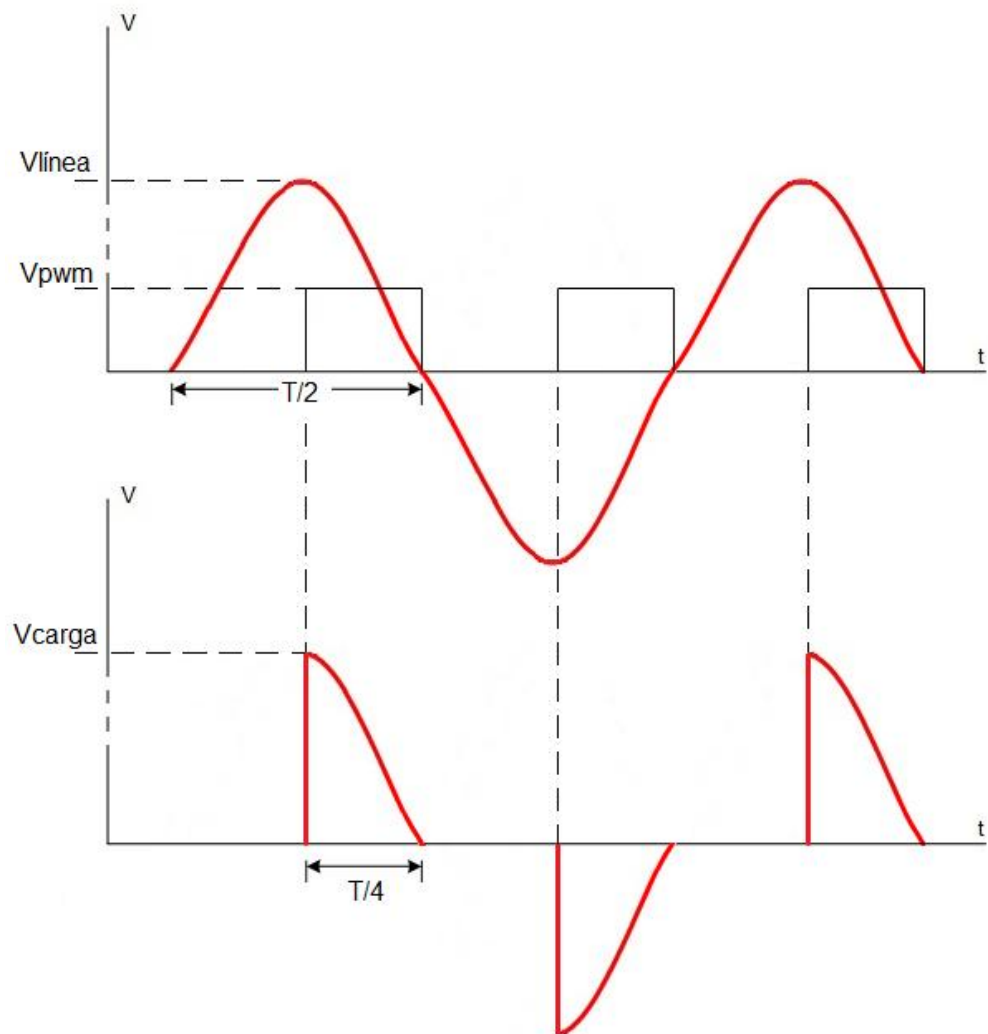


Fig. 3.10 Formas de onda de una señal PWM con un ciclo de trabajo del 50% con la señal respectiva aplicada a la carga

En este ejemplo la señal del módulo PWM se encuentra fija en la mitad del semiperíodo de la onda de la línea (90°). Esto es, al inicio del semiperíodo pasa de 5V a 0V y luego después de un tiempo dado, en este caso aprox. 4.17 ms, regresa a 5V y se repite cada semiciclo.

El control de intensidad y el encendido / apagado progresivo (fading) se basan en un barrido de la señal de salida del módulo PWM de un ángulo de disparo inicial a otro final en un tiempo dado.

A continuación la implementación del PWM usando los temporizadores del microcontrolador 16F886.

A pesar de que este microcontrolador permite configurar internamente sus temporizadores como módulos PWM, la frecuencia mínima configurable está muy por arriba de los 60 Hz que se necesitan (orden de los KHz) y además no permite realizar la sincronización con señales externas por lo que sería muy difícil su uso en esta aplicación.

Sin embargo existe otra herramienta que junto con una programación adecuada permite diseñar un PWM con las características requeridas, esta herramienta es el “modo comparador” del TMR1.

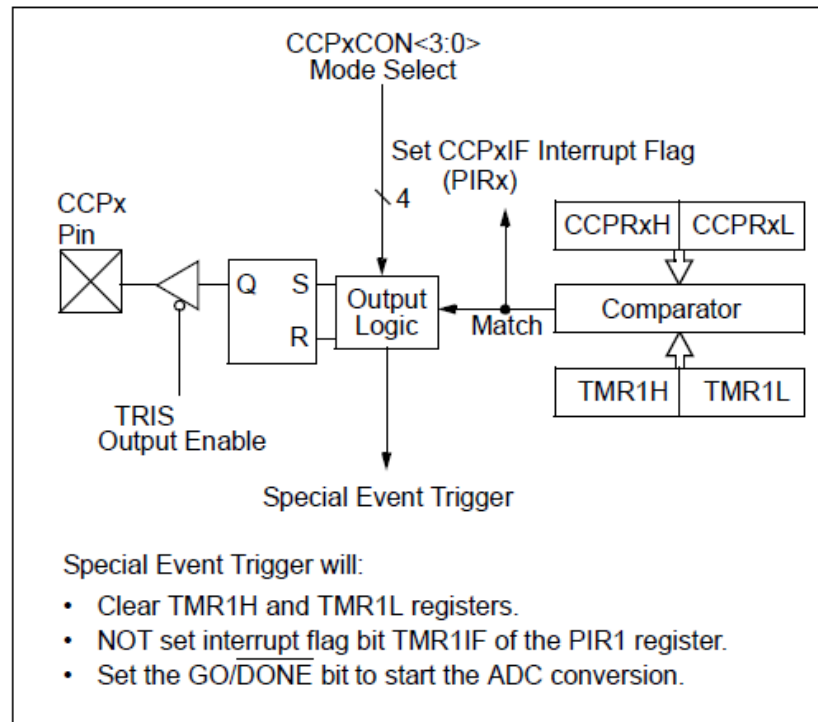


Fig. 3.11 Diagrama de bloques del módulo comparador del TMR1

En este modo se cuenta con dos registros CCPR1 y CCPR2 de 16 bits cada uno, por tanto es posible configurar 2 comparadores que se usarán para el PWM 1 y 2, se hará referencia a estos registros como CCPRx.

Cuando el sistema está activado (configuración adecuada de CCPxCON), el registro CCPRx es constantemente comparado con el valor del Temporizador 1 (TMR1) que es encendido y activado cada cruce por cero, cuando los dos valores son iguales el comparador puede configurarse para provocar una interrupción por software.

El TMR1 es configurado con un pre-escalador de 1:1 y con un período de ciclo de máquina (TCM) de 1us por lo que se obtendrá una temporización máxima de:

$$\text{Temporización} = TCM * Prescaler * (65535 - \text{Carga Inicial TMR1})$$

$$\text{Temporización} = 1\mu s * 1 * (65535 - 0)$$

$$\text{Temporización} = 65535\mu s$$

Considerando el ejemplo anterior donde la señal del PWM se activa en la mitad de la onda sinusoidal. Esto es aproximadamente 4.17ms, con las condiciones anteriores, se obtiene lo siguiente:

$$65535 = FFFF_H$$

$$4170 = 104A_H$$

Por lo que bastará cargar con el valor dado en hexadecimal al registro CCPRx e inicializar el TMR1 en cada cruce por cero, cuando el valor del TMR1 sea igual al del CCPRx provocará una interrupción por software que será servida desde el control de interrupciones donde se activará la salida PWM correspondiente (1 lógico) hasta el próximo cruce por cero.

Para conseguir encender, apagar y controlar intensidad en las cargas es necesario que el valor CCPRx sea dinámicamente cambiado y esto se lo hará en pasos de tiempo experimentalmente acordados. Los pasos serán llevados a cabo con el siguiente algoritmo:

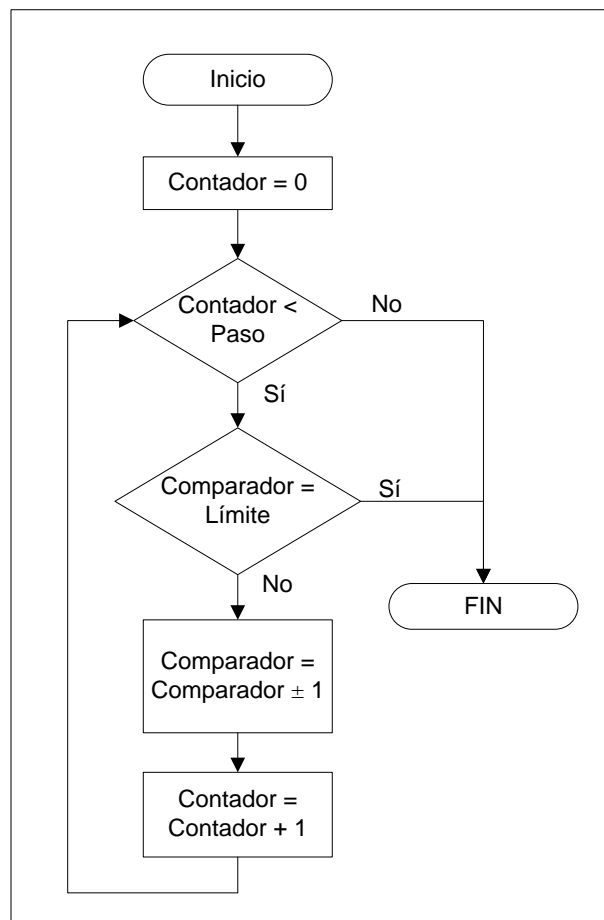


Fig. 3.12 Algoritmo de aumento/disminución de un paso

Se hace uso de un contador que avanzará hasta el valor del paso con cada iteración, es necesario fijar valores de tiempo límites en ambos extremos de la semi-onda sinusoidal, al inicio de la onda para corregir

los efectos del desfase entre el cruce por cero y el voltaje de línea (se explicará en el subcapítulo PWM) y al final debido al efecto no lineal del V_{rms} recibido por la carga, esto es que poco antes de los 180° el valor de V_{rms} no es suficiente para encender en lo más mínimo el filamento del foco.

Para subir la iluminación se debe recorrer el valor del comparador hacia el inicio de la onda por tanto el CCPRx se resta, para bajar la iluminación se realiza el proceso contrario.

Para controlar el tercer foco, debido a que el microcontrolador no posee más comparadores se hará uso del temporizador 0 (TMR0) de 8 bits.

El funcionamiento es el mismo con la diferencia de que la interrupción ahora ocurrirá en el momento del desborde del temporizador y se usará el valor de Carga Inicial del TMR0 para tener control sobre el tiempo de desborde. La temporización máxima será:

$$\text{Temporización} = TCM * Prescaler * (255 - \text{Carga Inicial TMR0})$$

$$\text{Temporización} = 1\mu s * 32 * (255 - 0)$$

$$\text{Temporización} = 8160\mu s$$

Este valor es suficiente para cubrir el barrido de ángulos de disparo en la media onda. Escoger un valor mayor de pre-escalador afectará la resolución del barrido.

La solución para el ejemplo considerado en esta sección, será:

$$4170\mu s = 1\mu s * 32 * (255 - \text{Carga Inicial TMR0})$$

$$\text{Carga Inicial TMR0} = 255 - \frac{4170}{32} \approx 125 = 7D_H$$

Por lo que se debería cargar con el valor hexadecimal 0x7D al TMR0 en el momento del cruce por cero para provocar una interrupción por desbordamiento 4.17ms después del cruce.

El diagrama de flujo es similar al de los comparadores con la diferencia de que para subir la iluminación el valor de carga del TMR0 debe aumentar, de esta manera el tiempo del disparo disminuye (según la fórmula), y viceversa para bajar la iluminación.

Ahora, para el caso en que una luminaria se encuentra totalmente encendida, el ángulo en el que el PWM se activa depende del ángulo en el que la señal de cruce por cero se dispara y el tiempo de procesamiento de la interrupción por parte del firmware.

En la sección de “Detector de Cruce por cero” se obtuvo que esta señal es activada 6.3° antes del verdadero cero. Tomando en cuenta una frecuencia de 60Hz se obtiene que:

$$\omega t = 6.3^\circ$$

$$t = \frac{\frac{6.3^\circ(\pi)}{180^\circ}}{2\pi(60)} = 291.67\mu s \approx 292\mu s$$

Lo que indica que el cruce por cero en realidad está desfasado en $292\mu s$.

Ahora, cuando una luminaria se encuentra totalmente encendida, en realidad no significa un ciclo de trabajo del 100% sino lo más cercano a este, es decir la señal cae a cero y vuelve a subir por un mínimo de tiempo en cada semiciclo lo que forma pequeños picos de bajada que desde el punto de vista de la potencia promedio de la carga es realmente despreciable.

Esta situación del cruce por cero da como resultado un desfase en adelanto de la activación de la señal PWM con la onda sinusoidal de la alimentación a la carga cuando está totalmente encendida. Esto se debe sincronizar por código.

Ahora bien, una vez que el microcontrolador recibe el pulso de cruce por cero del detector, ocurre lo siguiente:

- Inicialmente al saltar al vector de interrupción el firmware salva ciertos registros críticos en variables temporales tal que sean recuperables al regreso, esta rutina es propia del compilador, en el PCWH toma alrededor de 21 μ s.
- Luego se ejecuta la rutina de identificación de la fuente de interrupción también generada por el PCWH, toma alrededor de 13 μ s.
- Luego se ejecuta la rutina de servicio a la interrupción (ISR) que toma alrededor de 35 μ s. Dentro de esta rutina se desactiva la señal del PWM y se activa el temporizador correspondiente. Este temporizador, cuando la luminaria está totalmente encendida, toma un valor mínimo tal que inmediatamente ocurra la interrupción del CCPx correspondiente y asegure un ciclo de trabajo lo más cercano a 100%.
- Finalmente se ejecuta la rutina de recuperación de los registros críticos que toma alrededor de 20 μ s.

Luego, cuando ocurra la interrupción del comparador CCPx, sucede lo siguiente:

- Inicialmente se salva los registros críticos en $21\mu s$.
- Luego se ejecuta la rutina de identificación de la interrupción en $19\mu s$.
- Luego se ejecuta la ISR con $7\mu s$ de duración donde se vuelve a activar la salida PWM.
- Finalmente se recuperan los registros críticos en $20\mu s$.

De aquí se deduce que luego de que el detector de cruce por cero se activa toma:

$$21 + 13 + 35 = 69\mu s$$

Para que se desactive la señal de PWM correspondiente.

Y toma:

$$T_{ccp_o} + 21 + 19 + 7$$

Para que se vuelva a activar, donde T_{ccp_o} es el valor mínimo del CCPRx.

Si el valor mínimo de CCPRx es 0 entonces el tiempo de activación será de $47\mu s$ por lo que el tiempo total será de $116\mu s$, los mismos que restados del desfase del cruce por cero dan como resultado $176\mu s$,

es decir la señal PWM se activará 176 μ s antes del verdadero cruce por cero.

La solución para evitar este adelanto es aumentar el valor de T_{ccp_o} que constituirá un tiempo de compensación.

$$292 = 69 + T_{ccp_o} + 21 + 19 + 7$$

$$T_{ccp_o} = 176\mu s$$

Con esto se asegura la activación la señal de PWM en el cruce por cero exacto de la onda sinusoidal de la alimentación de forma teórica para una luminaria encendida.

Para el CCPR1 y CCPR2 este valor de T_{ccp_o} puede ser directamente convertido a hexadecimal siendo igual a 0x00B0.

Para el CCPR3 (simulado con el TMR0) no existe una conversión exacta, el valor próximo es:

$$32 * (255 - \mathbf{249}) = 192\mu s$$

De 249 μ s que equivalen en hexadecimal a 0xF9.

Si las 3 luminarias se encuentran encendidas al mismo tiempo, tomando en cuenta que se sirve una interrupción a la vez, la segunda señal PWM se activará con un retraso de $67\mu\text{s}$ respecto de la primera. Y la tercera luego de $67\mu\text{s}$ más.

En la práctica se debe considerar que según la norma internacional es aceptable una variación de $\pm 3\text{Hz}$ para la transmisión de energía, rango que también haría variar el desfase de la interrupción del cruce por cero.

3.7. Decodificador del Protocolo SONY IR

Como se explicó en el apartado “Especificaciones del Protocolo Sony IR” la señal obtenida del módulo receptor de infrarrojos está codificada en anchos de pulso, por lo que la decodificación se basará en el conteo de los tiempos (del ciclo de trabajo). La señal de salida del módulo receptor está invertida por lo que la medición se realiza cuando el nivel lógico es bajo.

El algoritmo será el siguiente:

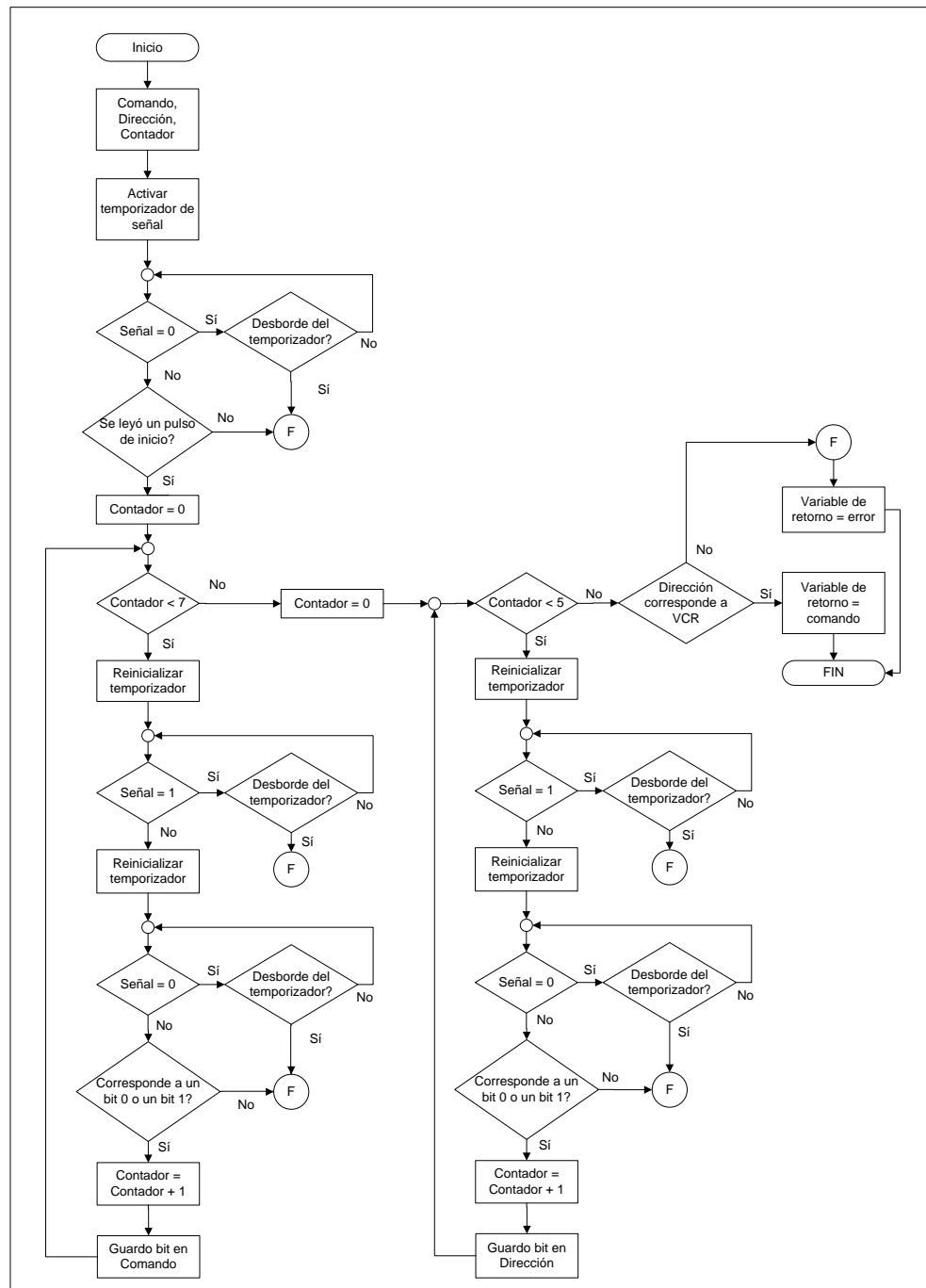


Fig. 3.13 Algoritmo de decodificación de las señales del protocolo SIRC

En este proceso se hace uso del temporizador TMR2 del microcontrolador para capturar cada uno de los anchos de pulso de la

señal. La lógica usada en la recepción es negativa y se recibirá por el pin RB1 del microcontrolador.

Inicialmente la entrada RB1 cambiará a bajo indicando que se leerá un comando desde el control remoto momento en que el temporizador comenzará a contar. A esta parte de la señal se la conoce como pulso de inicio y según el protocolo tiene una duración de 2.4 ms teóricos, en la práctica se ha considerado un porcentaje de tolerancia de $\pm 20\%$ para evitar falsos errores de lectura.

En el momento en que RB1 regrese a alto el temporizador dejará de contar y comparará si el valor registrado se encuentra dentro del rango de tolerancia, si es así se validará el pulso de inicio y se pasará al siguiente paso, caso contrario la función retornará error. La función también retornará error si se diera el caso de que RB1 permanezca en bajo por un lapso de tiempo mayor a 4.08 ms correspondiente al valor de sobrecarga del temporizador.

Usando el mismo procedimiento se leerán a continuación siete anchos de pulso más que deben estar dentro del rango de $600\mu s$ para lectura de un cero lógico y $1200\mu s$ para lectura de un uno lógico.

Si la lectura es exitosa estos bits representarán el comando o tecla pulsada del control remoto y constituirán la variable de retorno.

Posteriormente se leerán 5 bits más que corresponden a los de dirección, esto es para garantizar que el dispositivo controlado corresponde a una VCR (reusado por el presente proyecto) y no a una TV o DVD. De ser así la función terminará su trabajo retornando el valor del comando leído, de lo contrario retornará error. El código correspondiente a VCR es 0x02.

3.8. Encendido / Apagado de una Luz

Para lograr el retardo requerido en el encendido y apagado de las luces (encendido progresivo y desvanecimiento) bastará con ejecutar continuamente el algoritmo del PWM interponiendo un retardo entre cada paso de 8ms para los PWM diseñados con los comparadores y de 12ms para el PWM diseñado con el TMR0, con esto se consigue un barrido completo en aproximadamente 1.5 segundos, tiempo que experimentalmente es considerado vistoso. Ver el diagrama de flujo:

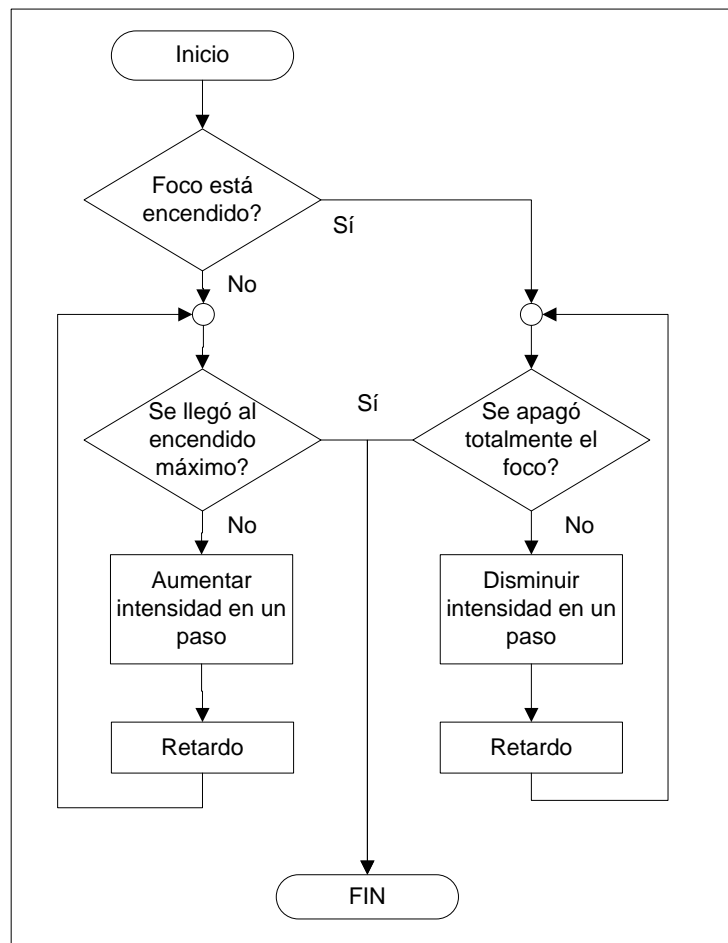


Fig. 3.14 Algoritmo de encendido/apagado de una luz

Se usará una variable global para conocer el estado de los focos ya sea encendido o apagado, de esta manera se sabrá cuándo se debe encender o apagar un foco con el comando dado ya que se usa el mismo para ambas situaciones.

3.9. Control de Intensidad

Para llevar a cabo esta solución se usará también el módulo PWM, a diferencia del encendido / apagado aquí no se realiza un barrido

completo del ancho de ángulos de disparo sino que se realiza un número pasos determinado por el usuario.

Este número de pasos dependerá del tiempo que el usuario mantenga presionada la tecla de cambio de intensidad. En lo que al control remoto se refiere, éste envía 3 comandos iguales al presionar y soltar inmediatamente la tecla dada, mientras que el teclado del control manual lo hace una sola vez. Es posible mantener presionada la tecla de cambio de intensidad enviando una cantidad desmedida de comandos lo que se reflejará en el cambio continuo de luminosidad del foco.

Por cada comando recibido, mediante software se aumentará o disminuirá según el caso en una cantidad de 35us el tiempo de disparo del triac.

El algoritmo además cuenta con una señal de aviso cuando el foco se haya encendido o apagado completamente, esta señal es el parpadeo continuo de los tres leds a una frecuencia de 5 Hz.

3.10. Control de Escenas y Manejo de la EEPROM

Al igual que las funcionalidades anteriores el control de escenas tiene como característica principal el uso del módulo PWM para el ajuste

dinámico de la intensidad de la luz de los focos que se encuentren relacionados con una escena dada.

Además para recordar los niveles de intensidad en cada escena programada aún cuando el sistema haya sido desconectado por algún corte del servicio eléctrico se hace uso de la memoria EEPROM integrada en el microcontrolador 16F886.

El algoritmo usado es el siguiente:

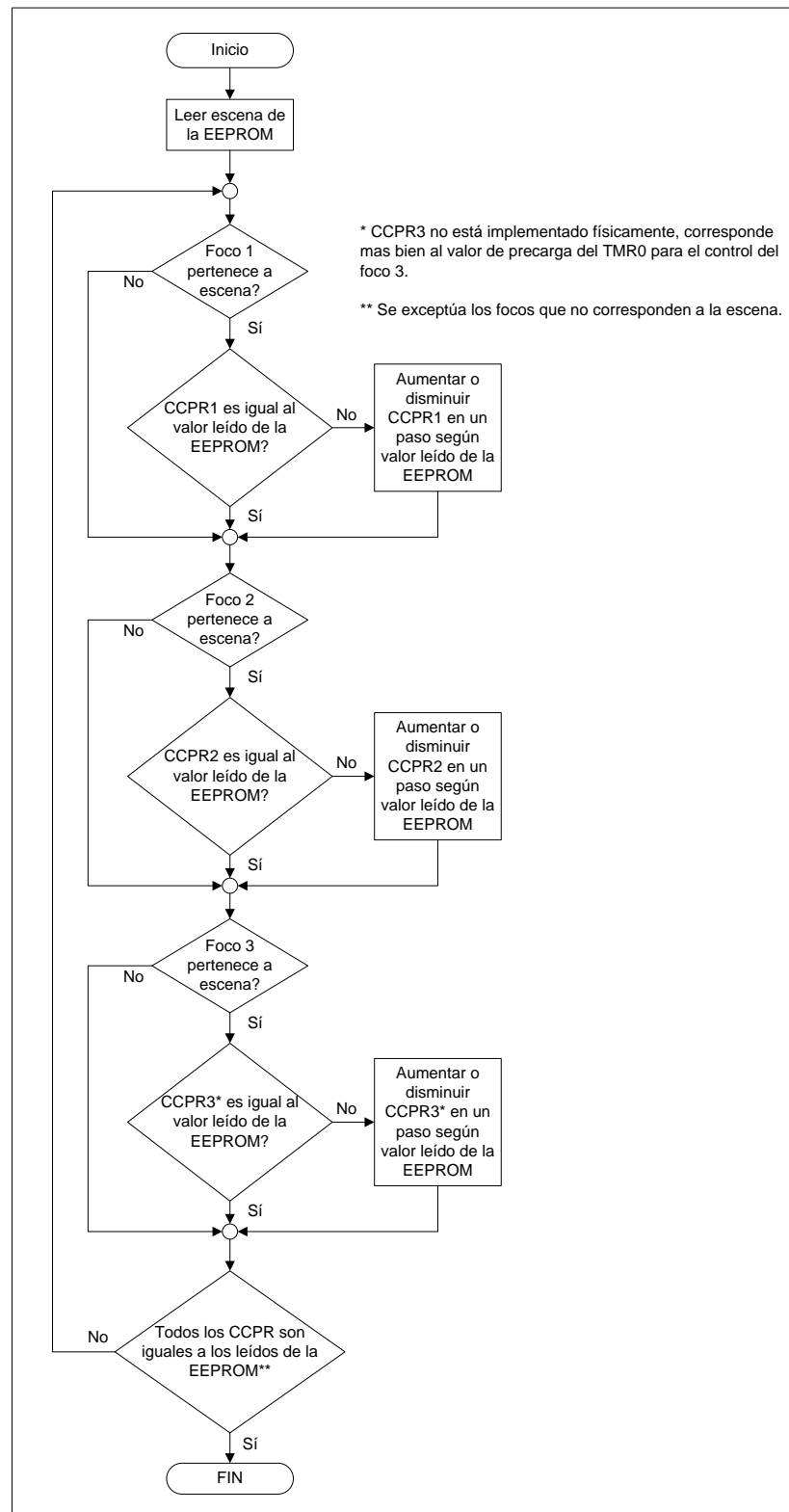


Fig. 3.15 Algoritmo de control de escenas

Este ajuste de intensidad ha sido programado para simular un cambio del ciclo de trabajo de las cargas de manera simultánea. Para lograr esto, tal cual se observa en el diagrama de flujo, se aumenta o disminuye según el caso el nivel de intensidad en la cantidad equivalente a un paso.

Esto se realiza en las cargas una por una en un lazo repetitivo hasta que todas ellas lleguen al ciclo de trabajo indicado en la memoria EEPROM que ha sido previamente guardado por el usuario.

Así a la vista de las personas parecerá que todos cambian de nivel de intensidad a la vez. Recordar que los cambios de intensidad de un nivel inicial a otro final se realizan de manera progresiva y no instantánea por lo que el cambio toma un tiempo específico.

La distribución y uso de la memoria EEPROM puede ser representado por el siguiente gráfico:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	D1	D2	D3													
1				F1.L	F1.H	F2.L	F2.H	F3								
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
A																
B																
C																
D																
E																
F																

Fig. 3.16 Distribución de la memoria EEPROM

Las posiciones sombreadas son las usadas por el sistema.

De 00 a 02 mantendrán las direcciones de los focos 1, 2 y 3 respectivamente, en 8 bits cada uno.

De 03 a 07, 13 a 17,..., 93 a 97 mantendrán los niveles de intensidad de cada foco correspondiente a un grupo o escena.

Por defecto las columnas 3 y 4, 5 y 6 mantendrán el valor de los registros CCPR1 y CCPR2 ambos de 16 bits, a los que se desea llegar con la activación de la escena para los focos 1 y 2 respectivamente.

La columna 7 mantendrá el valor de precarga del TMR0 (foco 3) en 8 bits para el nuevo valor de intensidad del foco 3.

Si alguno de los focos no pertenece a una escena dada su valor correspondiente en el espacio asignado de la memoria EEPROM será de 0xFF y no será tomado en cuenta por el algoritmo de control de escenas, es decir conservará el nivel de intensidad que tenía antes del encendido de dicha escena.

Para leer y escribir datos en la memoria el software de CCS cuenta con dos funciones en sus librerías para este propósito por lo que no hay que seguir un algoritmo específico sino simplemente usar estas funciones.

3.11. Etapa de Fuerza

La etapa de fuerza constituye la interfaz entre las señales PWM del microcontrolador y las cargas a controlar.

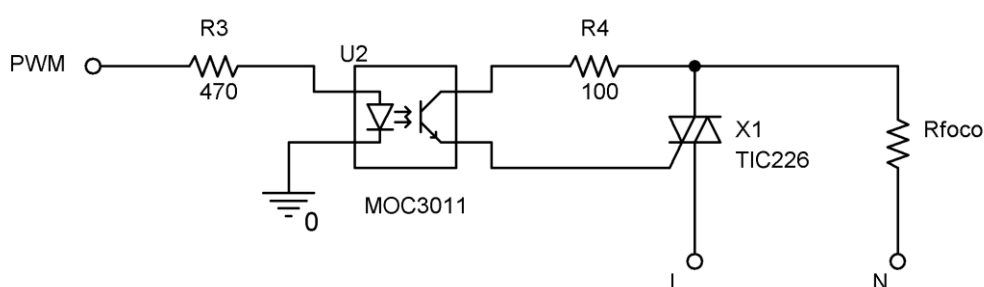


Fig. 3.17 Esquemático del circuito de fuerza

Como se visualiza en la figura el microcontrolador se encuentra aislado de la carga mediante el optoacoplador MOC3011. La corriente

se encuentra regulada por R3 y permite encender el LED infrarrojo del optotriac cuando la señal del PWM está en estado alto.

Esta corriente está dada por:

$$I_{R3} = \frac{V_{PWM} - V_{LED}}{R_3}$$

$$I_{R3} = \frac{5 - 1.2}{470} = 8.08mA$$

Que es mayor al mínimo de 5mA requerido por el optoacoplador para que se encienda y es un valor fácilmente manejable por el microcontrolador.

Cuando esto ocurre hará conducir al triac TIC226 que soportará una corriente RMS máxima de:

$$I_{MT1,2RMS} = \frac{100W}{120V} = 0.83A$$

Para un foco de 100W encendido en su totalidad, muy por debajo de su máximo manejable de 8A.

3.12. Consideraciones en la Instalación

El producto final está diseñado para instalarse de forma sobrepuesta y atornillada a la caja estándar para interruptores, el transformador sobresale de las dimensiones del producto para ubicarse dentro de la caja estándar.

Los productos de control de intensidad comúnmente encontrados en el mercado requieren de un suministro mínimo de corriente que bordea los 5mA, por lo que en su diseño optan por el uso de una fuente de poder sin transformador, y además, gracias a su simplicidad, es posible configurar un sistema que le permita prescindir del uso del cable de neutro y alimentarse mediante el cable de línea y el de la carga.

El presente producto como el de otros productos actualmente comerciales que ofrecen soluciones más complejas, necesitan del uso de una fuente de mayor potencia y por consiguiente del uso del cable de neutro para su alimentación, por lo que en la instalación del equipo es necesario extender este cable desde del foco hacia la caja del interruptor.

3.13. Diseño del Plan de Pruebas

Durante el diseño del sistema fue necesario observar algunas señales características de los bloques descritos a continuación y verificar sus datos proporcionados para asegurar que sean los requeridos por el proyecto.

Prueba	Motivo
FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD DE CONTROL REMOTO	
Se revisará la señal de una tecla en particular, para esta medición se hará referencia a la tecla POWER ya que se encuentra presente en la mayoría de combinaciones de teclas que activan una función determinada.	Para analizar la trama de datos y verificar que sea la correcta, medir los tiempos de codificación de bit, espacios entre tramas y frecuencia de portadora experimentales para asegurar que estos datos sean cercanos a los teóricos.
FUNCIONAMIENTO DEL DECODIFICADOR DE IR	
Se revisará la recepción de una trama de datos en particular.	Para verificar que la demodulación se haya realizado correctamente, medir posibles desviaciones en los tiempos de bit receptados y asegurar que

	<p>estos se encuentren dentro de los parámetros de tolerancia del bloque decodificador y por tanto puedan ser procesados correctamente.</p>
<p>FUNCIONAMIENTO DEL BLOQUE PWM</p>	
<p>Se revisará la respuesta de la intensidad luminosa ante los cambios de ángulos de disparo mediante la medición del voltaje eficaz a la cual es sometida una luminaria.</p>	<p>Para verificar que la señal generada por el bloque PWM active correctamente al bloque de fuerza y esto se refleje en la carga, verificar además cuán lineal es la respuesta de intensidad luminosa ante cambios contantes (pasos) del ángulo de disparo.</p>
<p>Medición de la señal de cruce por cero.</p>	<p>Para revisar el desfase experimental debido al diseño del circuito y tomar las respectivas correcciones desde código.</p>
<p>Respuesta a un paso en el control de intensidad.</p>	<p>Para revisar el cambio del ciclo de trabajo, lo que se traduce en</p>

	cambio de intensidad ante una pulsación de la tecla de control respectiva y así determinar la cantidad de pulsaciones necesarias para realizar un barrido completo de intensidad.
--	---

Las pruebas realizadas con sus respectivos resultados se detallan el capítulo a continuación.

CAPÍTULO 4

4. PRUEBAS Y RESULTADOS OBTENIDOS

En el presente capítulo se mostrarán señales características del sistema obtenidas mediante un osciloscopio digital en respuesta a los principios básicos de funcionamiento.

4.1. Pruebas con Señales Generadas por la Unidad de Control Remoto

La unidad de control remoto utilizada para esta prueba es una SONY RM-V202 configurada para VCR con código 001.

Del osciloscopio se obtuvieron los siguientes gráficos:

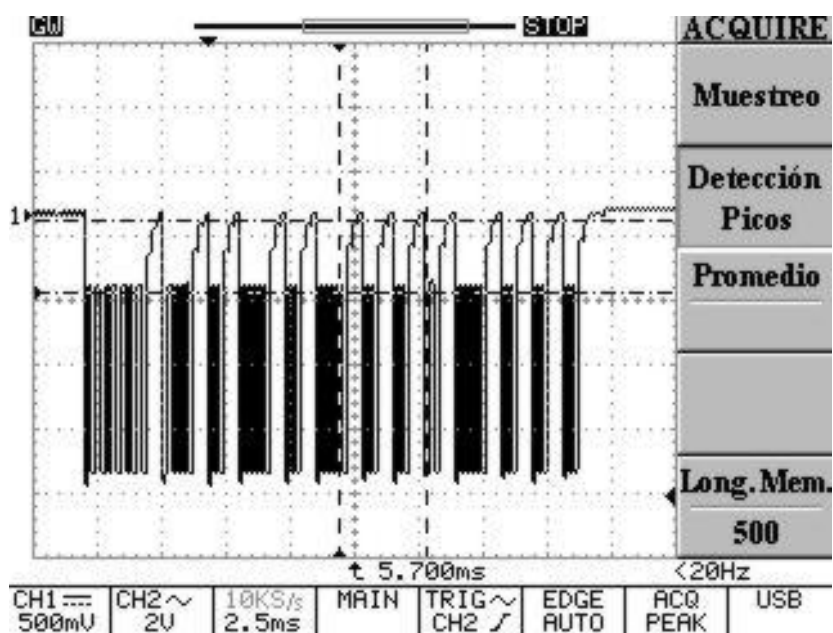


Fig. 4.1 Trama del protocolo SIRC generada por el control remoto

Aquí se puede visualizar la señal en su trama completa correspondiente a la tecla POWER, el bit de inicio o START con mayor duración de tiempo en estado bajo, luego un bit 1 con duración de tiempo menor, pero mayor a la de un bit 0. Fácilmente se puede leer los bits de datos 1010100 y los de dirección 01000. Como se había mencionado anteriormente, los bits se reciben desde el menos significativo (LSB) hasta el más significativo (MSB) con lo que la lectura real será de 0x15 como datos y 0x02 como dirección.

Se visualiza también la modulación en frecuencia aplicada en los bajos, haciendo un acercamiento a la imagen en la parte modulada se obtiene:

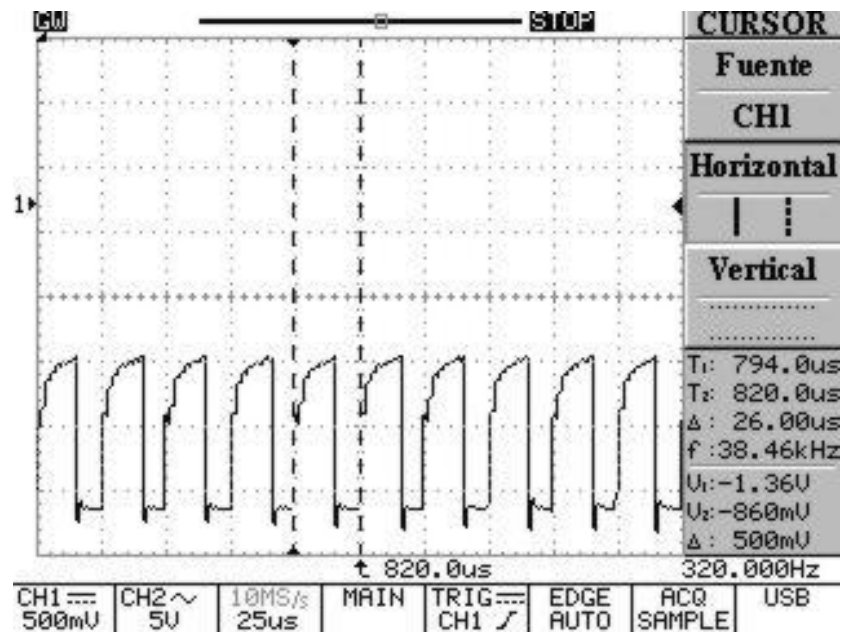


Fig. 4.2 Medición de la frecuencia central del tren de pulsos

De aquí se mide experimentalmente la frecuencia central de la modulación en aproximadamente 38.46 KHz. El valor teórico de esta frecuencia es de 40KHz.

A continuación el pulso de inicio o START con mayor detalle:

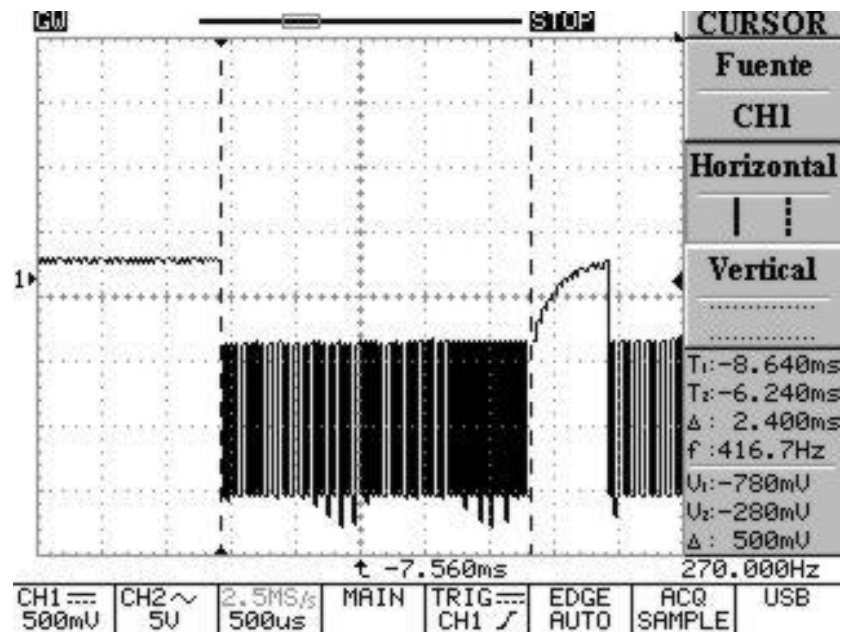


Fig. 4.3 Medición del segmento de inicio de la señal del control remoto

Se observa un tiempo de duración experimental de 2.4 ms igual a la teórica.

Revisando el bit 1:

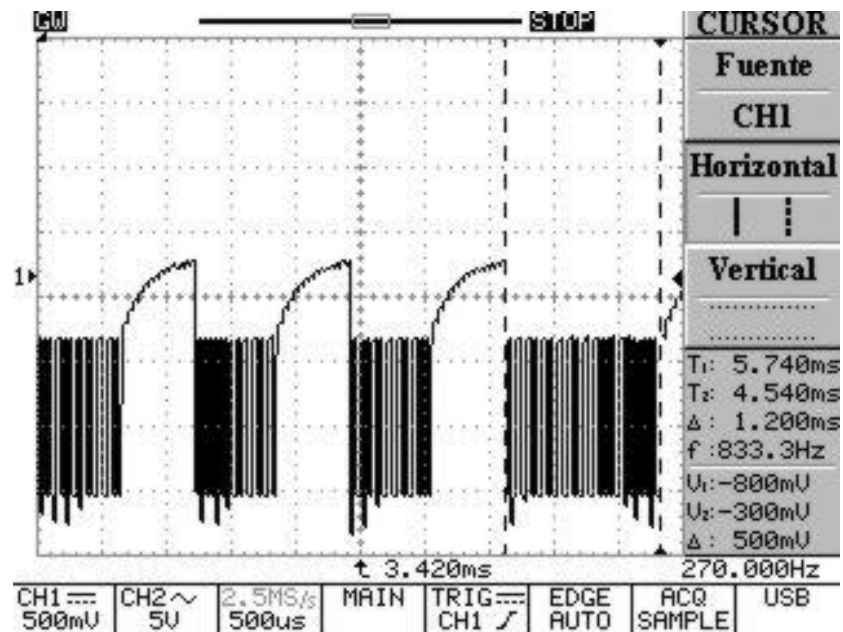


Fig. 4.4 Medición del bit "1" de la señal del control remoto

Se obtiene una duración de 1.2ms igual al tiempo teórico.

A continuación el bit 0:

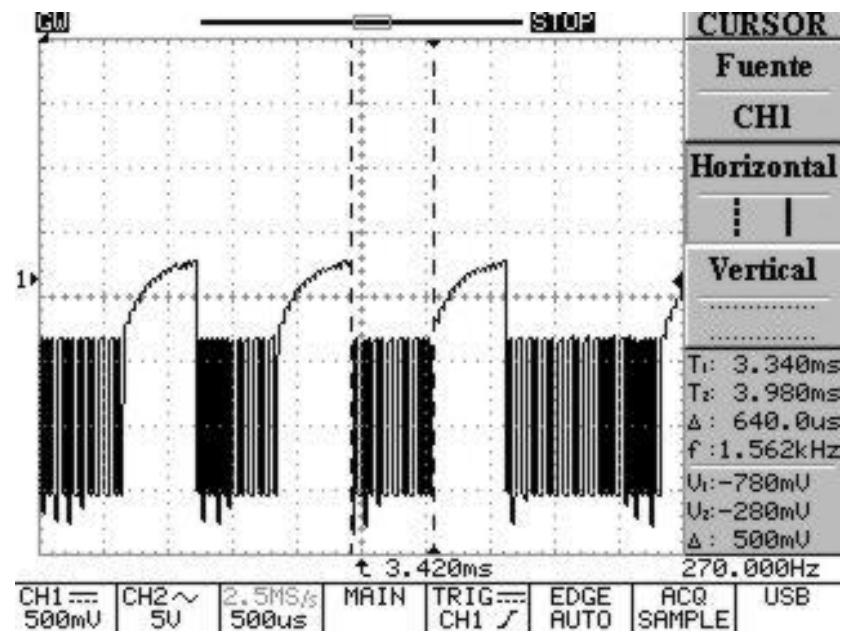


Fig. 4.5 Medición del bit "0" de la señal del control remoto

Con una duración de 640us frente a los 600 teóricos.

Por último la señal del alto:

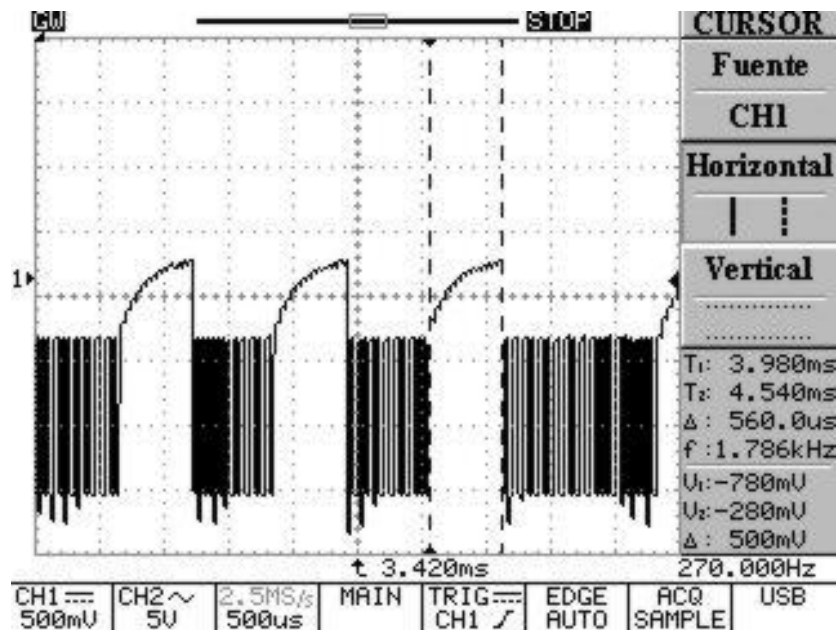


Fig. 4.6 Medición del espacio entre trenes de pulsos de la señal del control remoto

Que es de 560us frente a los 600us teóricos aunque ésta no es tomada en cuenta en la medición por no constituir información relevante.

4.2. Pruebas con Señales Obtenidas del Módulo Receptor de IR

La misma señal de POWER se vería de la siguiente manera:

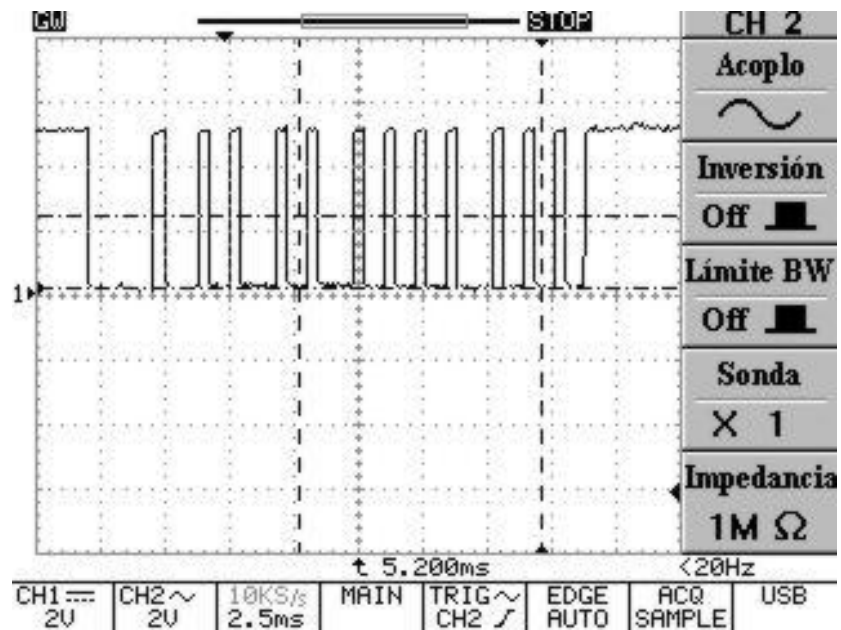


Fig. 4.7 Trama del protocolo SIRC a la salida del receptor IR

Se observa cómo los 38.46 KHz medidos han sido filtrados con éxito. Ahora se revisará si afecta a las medidas de tiempo donde se guarda la información de los bits.

El pulso de inicio o START:

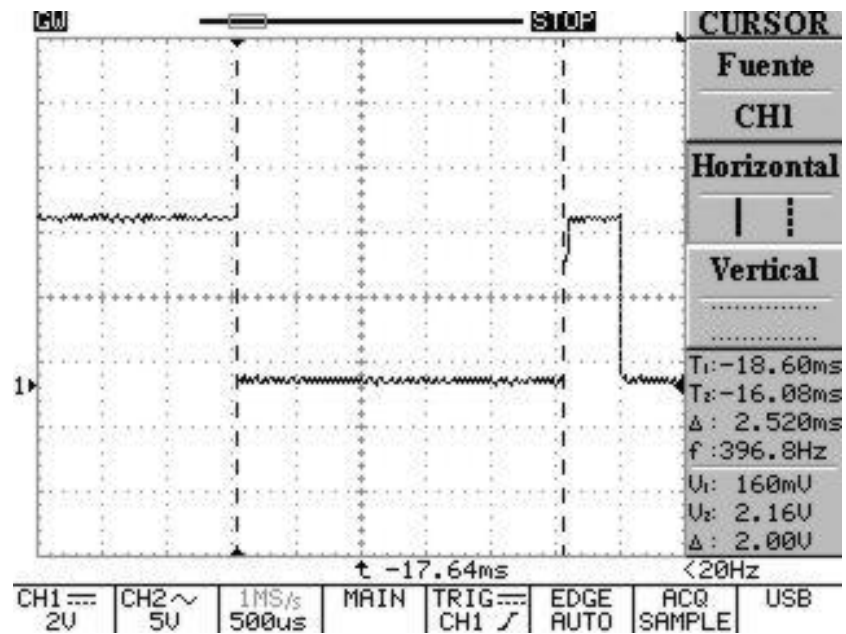
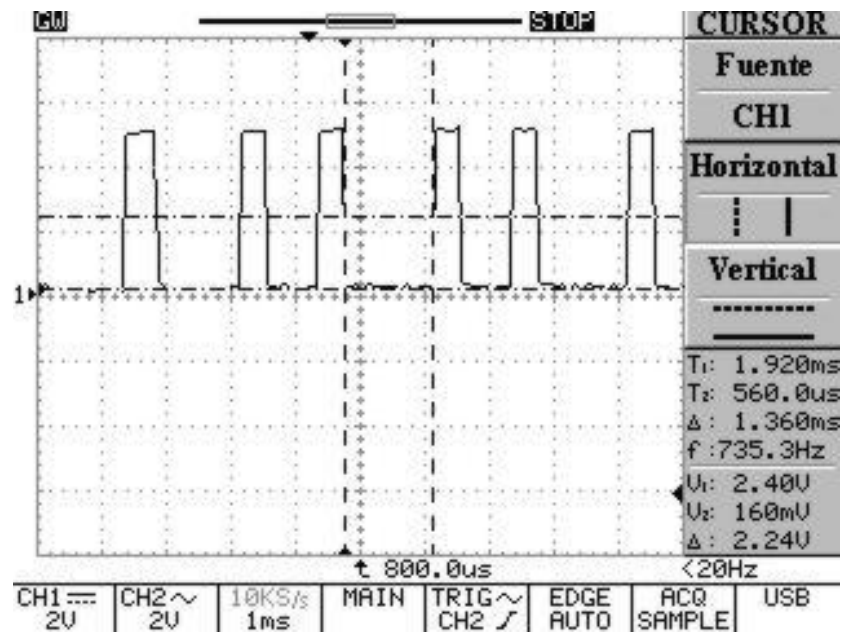


Fig. 4.8 Medición del segmento de inicio de la señal del receptor IR

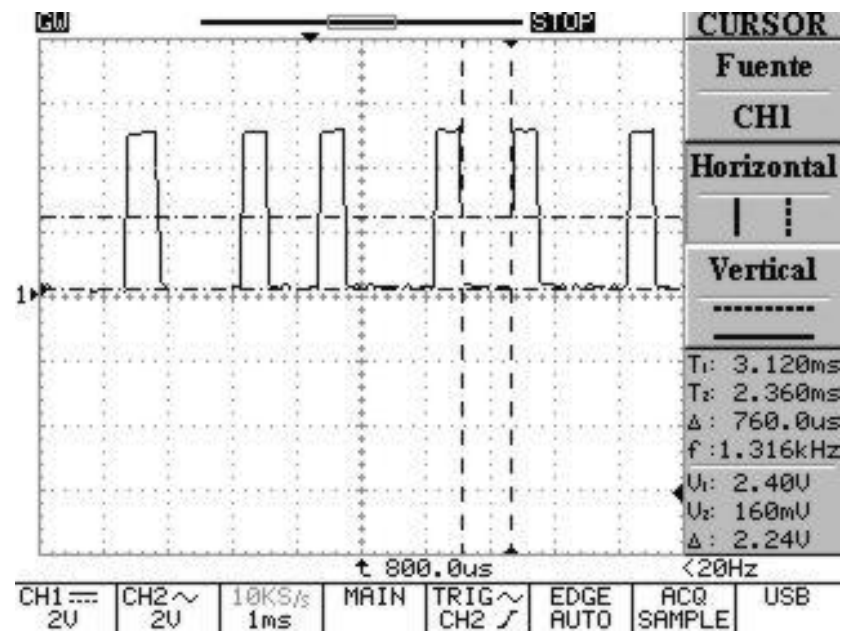
Tiene una duración de 2.52ms que cae dentro del rango de tolerancia del sistema.

Ahora el bit 1:



Mide 1.36ms también dentro del rango de tolerancia.

Y el bit 0:



Con una duración de 760us frente a los 600 teóricos, desviación manejable desde código.

Debido al aumento en las lecturas de tiempo de los pulsos en bajo (porcentaje de error) se obtiene una disminución en el tiempo de duración de los altos que lo compensa:

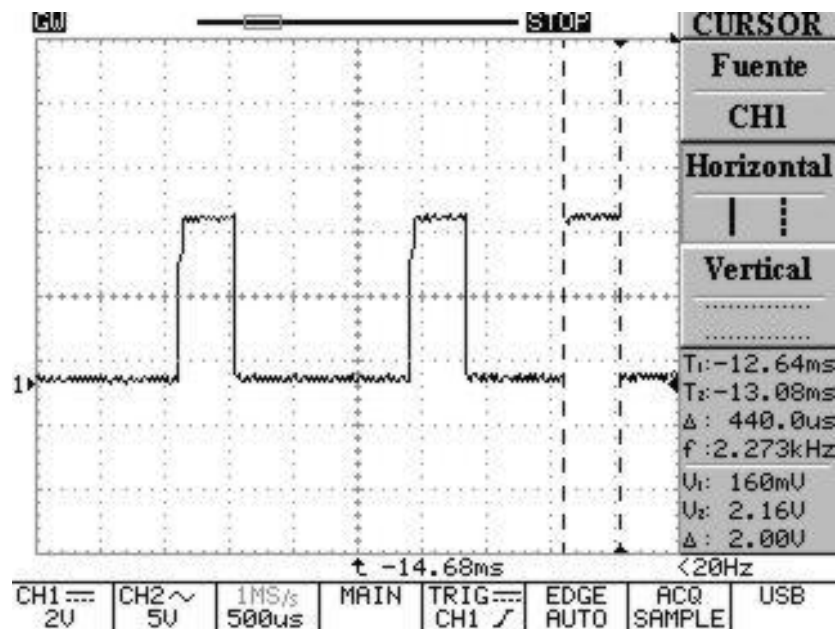


Fig. 4.11 Medición del espacio entre pulsos de la señal del receptor IR

Se observa 440us frente a los 600us teóricos.

Es de utilidad también conocer el tiempo muerto donde la señal permanece en alto con el fin de separar una trama de otra cuando se mantiene presionada una tecla y se envían una ráfaga de estas tramas.

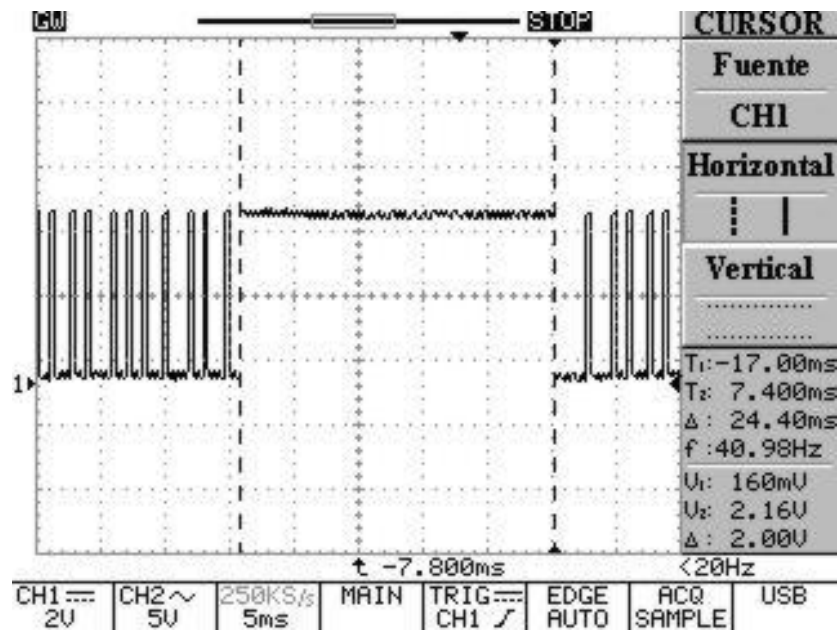


Fig. 4.12 Espacio de fin de trama de la señal del receptor IR

En la imagen se puede visualizar cómo una trama termina y luego de un tiempo comienza otra cuando se ha enviado una ráfaga de tramas. Este es el tiempo muerto y tiene una duración experimental de 24.4ms.

De aquí que la trama más el tiempo muerto suman:

$$2.52 + (1.36 + 0.44) * 4 + (0.76 + 0.44) * 8 + 24.4 = 43.72ms$$

Que se aproxima al valor teórico de 45ms.

Se debe tomar en cuenta que los tiempos de la señal (ciclos de trabajo) se ven mayormente afectados por la irradiancia de la luz

infrarroja de la unidad de control remoto y las señales perturbadoras que incidan sobre el módulo detector en un determinado momento.

4.3. Pruebas con Señales Características del Módulo PWM

A continuación una tabla que muestra la respuesta de voltaje RMS experimentales en la carga para diferentes valores de ángulos de disparo discretos.

$\alpha(^{\circ})$	t(us)	Vrms(V)
10	463	118.5
20	926	115.5
30	1389	108.8
40	1852	100.4
50	2315	90.3
60	2778	79.4
70	3241	68.2
80	3704	57.1
90	4167	46.6
100	4630	37.4
110	5093	28.6
120	5556	20.5
130	6019	13
140	6481	7
150	6944	3
160	7407	1
170	7870	0

Tabla 4.1 Valores experimentales del voltaje RMS en la carga vs el ángulo de disparo

Y su respectivo gráfico:

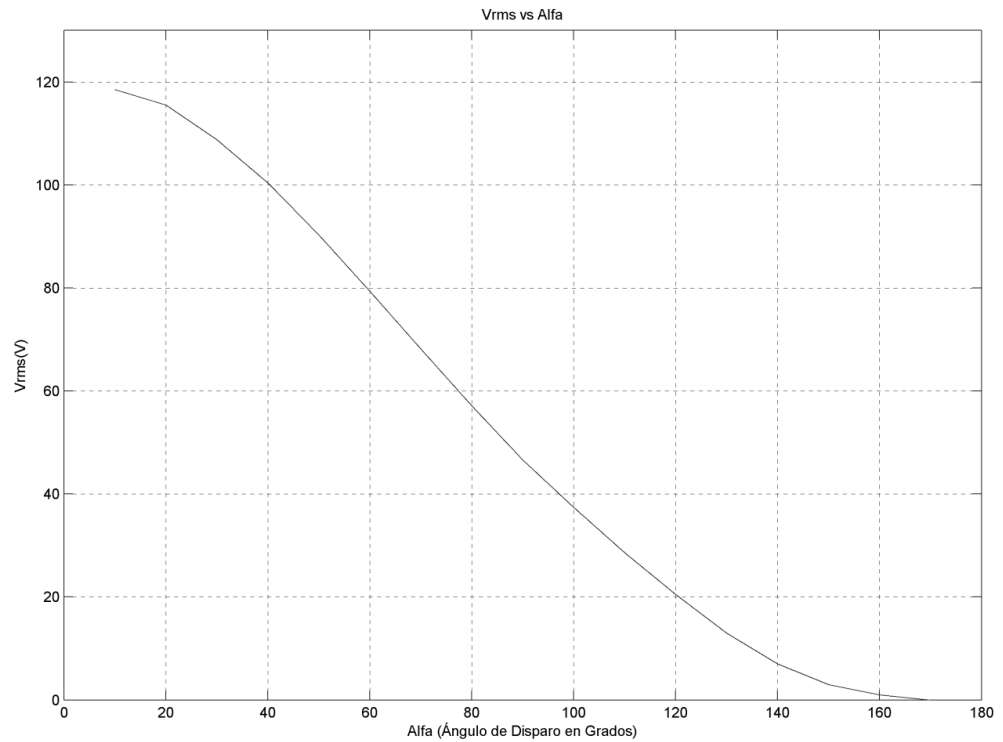


Fig. 4.13 Vrms en carga vs ángulo de disparo

Se obtiene una respuesta aproximadamente lineal entre 40 y 120 grados, mientras que entre 0 y 40, y 120 y 180 el cambio es menos significativo, esto se traducirá en un efecto retardado en el nivel de cambio de intensidad del foco cuando se comienza a subir la intensidad desde cero o cuando el foco ya está casi encendido en su totalidad.

Seguidamente la señal de cruce por cero:

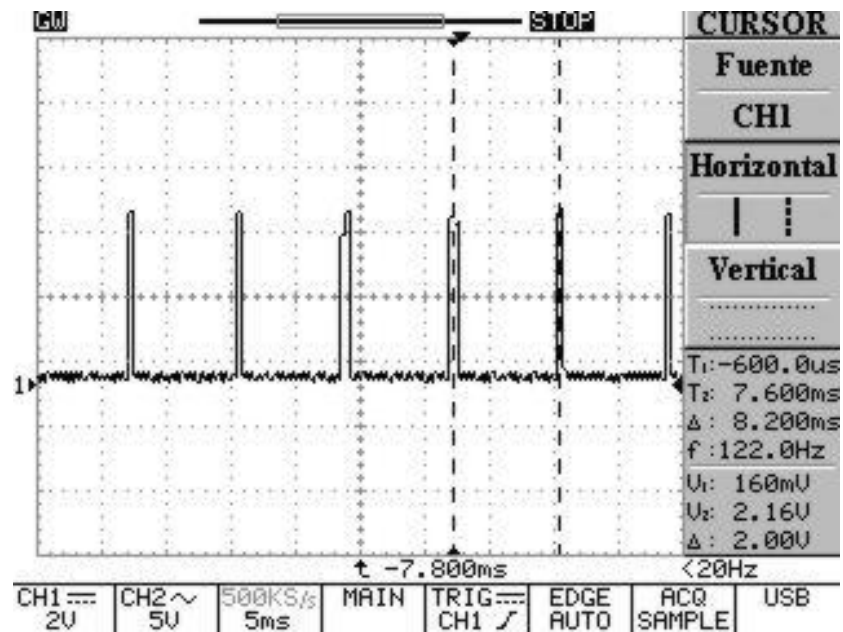


Fig. 4.14 Señal de cruce por cero

Experimentalmente se obtiene esta señal en periodos de 8.2ms frente a los 8.33ms teóricos, cabe recordar que esta señal está perfectamente sincronizada con el voltaje de la línea y que los 60Hz teóricos no son necesariamente iguales en la práctica.

A continuación la modulación para un foco totalmente encendido:

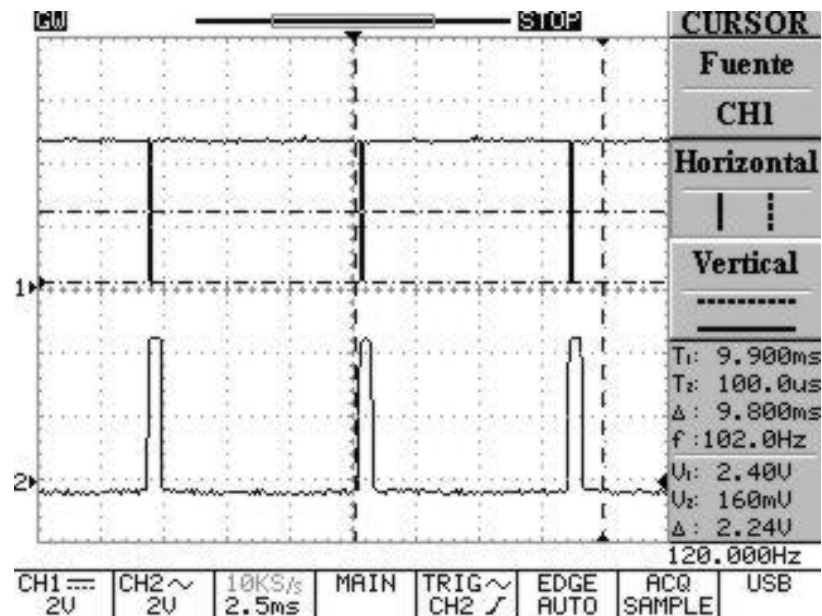


Fig. 4.15 Modulación PWM para un foco totalmente encendido

La gráfica muestra arriba el pulso PWM casi con un 100% de ciclo de trabajo y abajo la forma de onda del cruce por cero. Acercando la gráfica al momento del cruce por cero se obtiene:

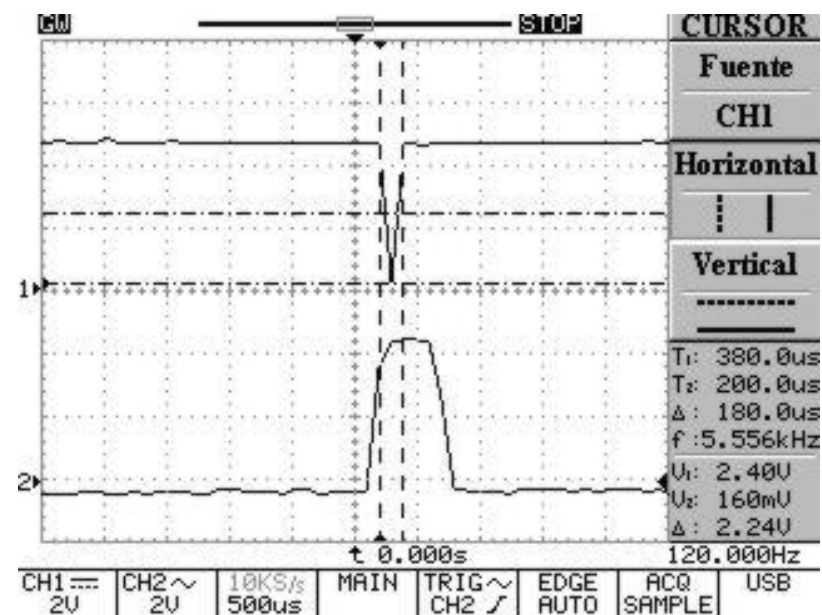


Fig. 4.16 Retardo en la respuesta al cruce por cero

Se observa que al momento del flanco positivo de la señal de cruce por cero, la onda del PWM baja a 0V y casi inmediatamente sube a 5V, este proceso toma alrededor de 180us que si se revisa en la tabla de respuesta del voltaje aplicado ante variaciones del ángulo de disparo, se verá que este retardo es prácticamente insignificante.

El ancho del pulso del cruce por cero es irrelevante en el sistema ya que sólo se toma en cuenta el momento que ocurre el flanco positivo.

A continuación dos gráficos que muestran el aumento del ángulo de disparo:

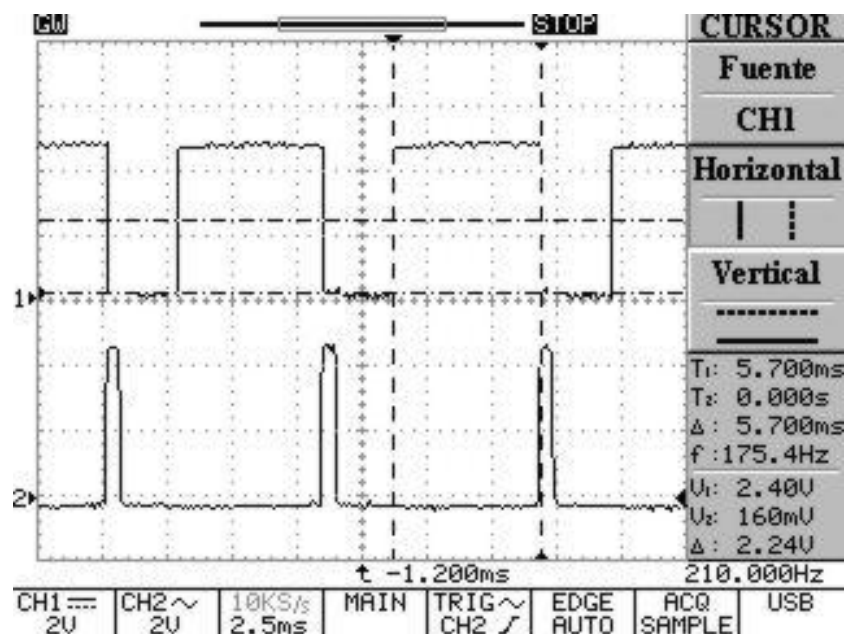


Fig. 4.17 Modulación PWM con un ciclo de trabajo del 70% aproximadamente

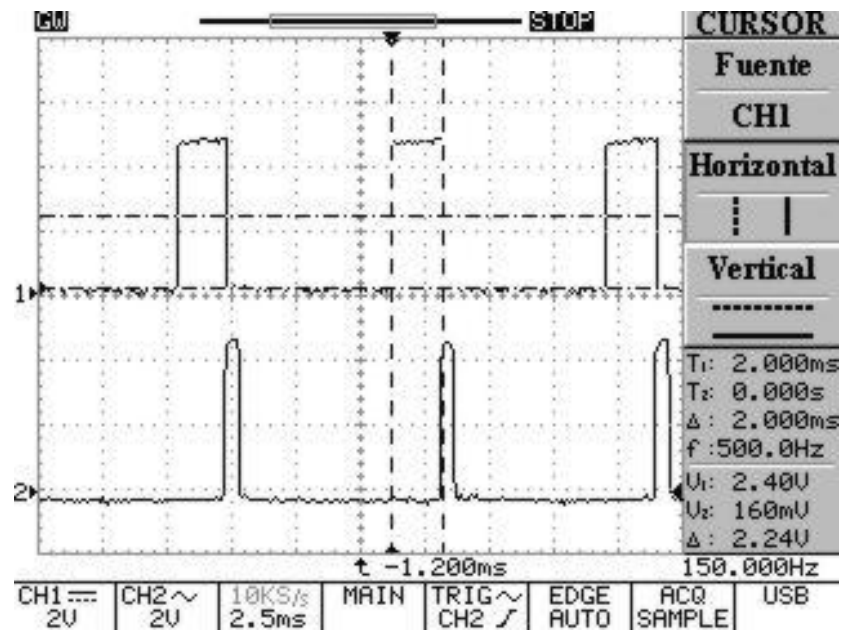


Fig. 4.18 Modulación PWM con un ciclo de trabajo del 25% aproximadamente

4.4. Respuesta a un Paso en el Control de Intensidad

Como se había indicado anteriormente, la respuesta a un paso se refiere al cambio mínimo en el nivel de intensidad a la que una luminaria se puede someter.

Tomando en cuenta que al presionar por un mínimo de tiempo una tecla de la unidad de control remoto, ésta envía 3 tramas iguales consecutivas del comando respectivo, y que por cada trama recibida el cambio por software es de 35us en el tiempo del disparo del triac, entonces el total en el cambio es 105us de los 8330us disponibles.

A continuación un ejemplo:

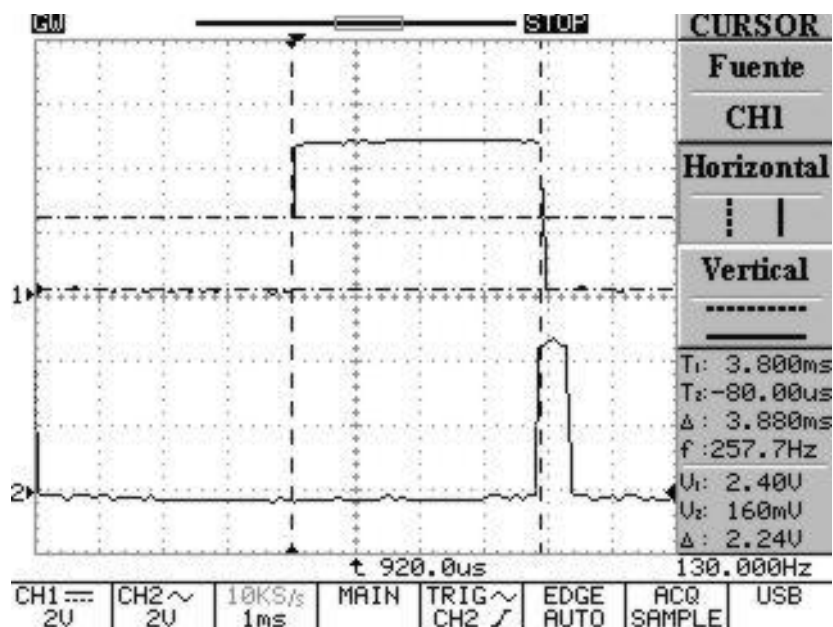


Fig. 4.19 Modulación PWM en 46.7% de ciclo de trabajo (medición inicial)

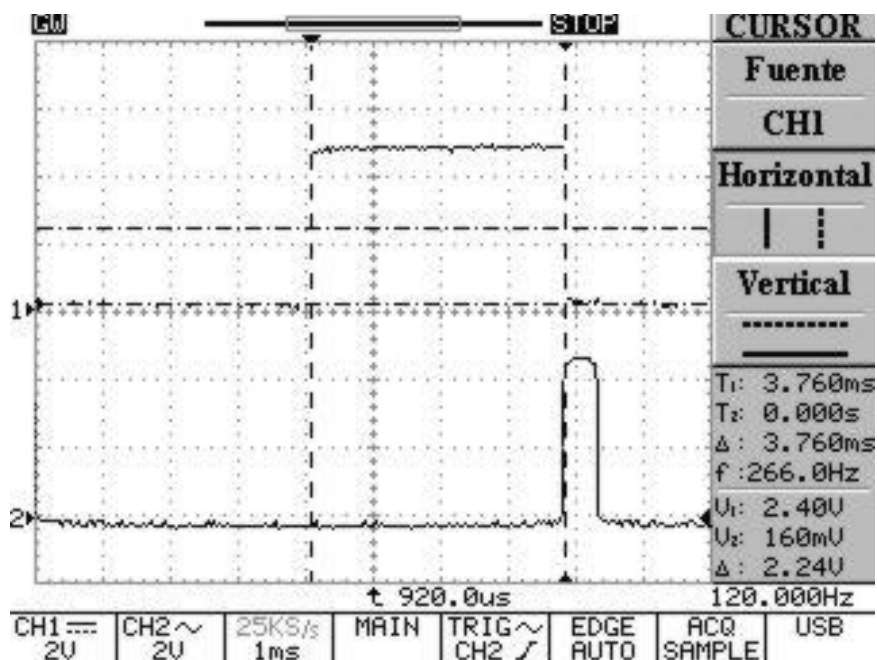


Fig. 4.20 Modulación PWM en 45.3% de ciclo de trabajo (medición final)

Este ejemplo se refiere al aumento del nivel de intensidad de una luminaria dada, aumentando el ciclo de trabajo de señal PWM respecto a un cambio de 120us o 1.4% del ciclo de trabajo, aproximadamente el valor de un paso.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Respecto a la recepción de código se pudo comprobar que el filtrado de la señal se realizó correctamente sin haber sido perturbada por ruido u otras señales externas.

Luego del filtrado se observó pequeños desfases en los anchos de pulso que representan a cada uno de los bits, estos se vieron mayormente afectados por la irradiancia de la luz infrarroja de la unidad de control remoto y las señales perturbadoras que incidan sobre el módulo detector en un determinado momento, tomando en cuenta que la frecuencia central teórica del receptor es de 40KHz y se trabaja con señales de 38KHz.

Se observó un comportamiento aproximadamente lineal del voltaje aplicado al foco con respecto al ángulo de disparo, lo que permitió configurar cambios de paso constantes en el control de intensidad, sin embargo hay que considerar que acercándose a los extremos su comportamiento deja de ser lineal pero no influye mucho en la percepción por parte del usuario.

Por otro lado, como la frecuencia del voltaje de línea varía, el tiempo en desfase de la activación del cruce por cero va a ser levemente variable a pesar de la corrección realizada mediante código, sin embargo esto no afecta al funcionamiento del sistema.

Con respecto al control de intensidad, la cantidad de pasos necesaria para cambiar la intensidad de un foco de estado apagado a totalmente encendido o viceversa, se encuentra sujeta al tiempo en que se mantenga presionada la tecla para dicha función, para el mínimo de tiempo por cada pulsación se calculó que el ciclo de trabajo varía en 1.4%.

CONCLUSIONES

1. El desarrollo de este proyecto ha aportado con una solución que ofrezca comodidad y confort en lo que respecta al manejo y control de luminarias en las casas con características similares a algunos de los esquemas actualmente comerciales a nivel de grandes edificios y empresas.
2. El uso del control remoto universal para controlar las luces del hogar constituye un manejo eficiente de esta unidad reusando su capacidad para controlar dispositivos VCR en el presente sistema de control de luminarias, evitando así el uso de unidades de control remoto dedicadas como lo ofrecen ciertos fabricantes.
3. El proyecto abre la posibilidad de adaptarse al uso de nuevas tecnologías en luminarias con una actualización mínima de la versión actual del firmware.

4. Se desarrolló un sistema económicamente asequible al mercado de los hogares ecuatorianos que introduce la innovación tecnológica y el concepto de domótica al alcance de todos con una visión masificadora de la tecnología de la iluminación que aperture su mercado.
5. El uso del protocolo SONY para el proyecto constituyó un método simple de comunicación, de fácil decodificación y mantenimiento, con una longitud de trama pequeña que permite el diseño de un sistema menos propenso a errores de transmisión.
6. El uso del módulo receptor de infrarrojos de RADIO SHACK garantiza la inmunidad al ruido del sistema ante otros emisores de infrarrojos como el sol, lámparas fluorescentes y focos incandescentes que son aportadores de ruido frecuentes.
7. El compilador de la empresa CCS demostró eficiencia en la generación de código de máquina respecto al control de las interrupciones, módulo altamente crítico en tiempos de servicio, siendo esta la característica más

importante en lo que respecta al presente diseño y la razón de su elección en el presente proyecto.

RECOMENDACIONES

1. En el diseño se recomienda el uso de un microcontrolador con capacidad de depuración de código en circuito real para optimizar el tiempo y detección de errores y corregirlos eficazmente.
2. Se recomienda el uso de la unidad de control remoto dentro del alcance de ± 30 grados medidos desde la vertical del sensor y con una distancia máxima de 15 metros en línea de vista recta. Fuera de este rango el sistema no detectará las tramas de datos y por tanto no realizará ninguna acción.
3. Al dar mantenimiento al sistema se debe seguir las normas generales de electricidad desconectando de la energía las líneas de voltaje y neutro que llegan al dispositivo.

APÉNDICES

APÉNDICE A

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE LUCES INCANDESCENTES

En la siguiente figura se puede revisar el diagrama esquemático del diseño y la lista de elementos con sus respectivos valores en las tablas subsiguientes.

Dentro del diagrama esquemático en la sección de circuito de fuerza se debe implementar 3 veces para poder controlar hasta 3 focos usando las salidas Triac1, Triac2 y Triac3 del microcontrolador.

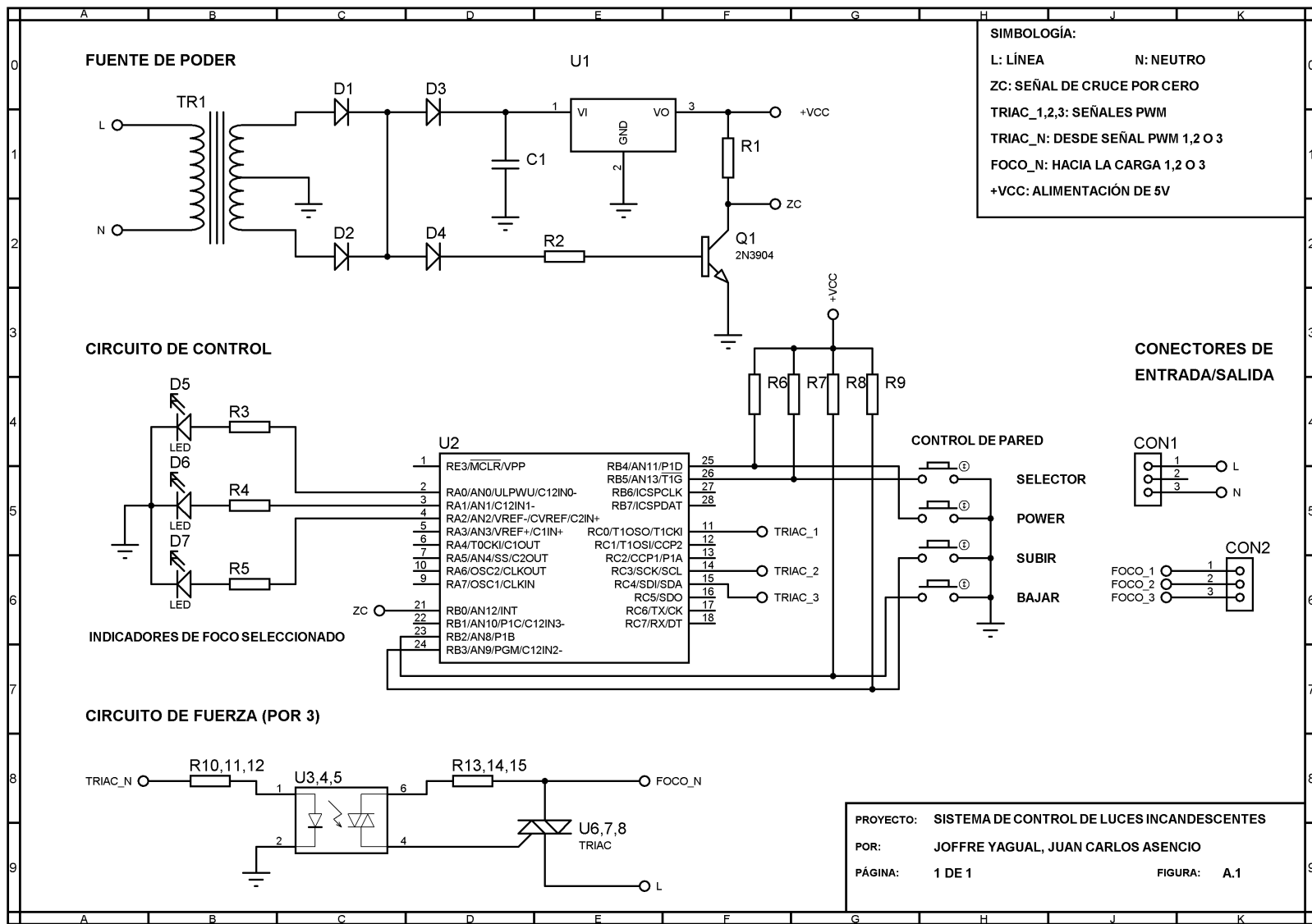


TABLA A.1. LISTA DE ELEMENTOS

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	VALOR
U1	REGULADOR DE VOLTAJE	5V
U2	MICROCONTROLADOR	PIC16F886
U3	OPTOACOPLADOR	MOC3011
U4	OPTOACOPLADOR	MOC3011
U5	OPTOACOPLADOR	MOC3011
U6	TRIAC	TIC226D
U7	TRIAC	TIC226D
U8	TRIAC	TIC226D
U9	MÓDULO RECEPTOR IR DE RADIOSHACK	38Khz
CON1	CONECTOR DE ENTRADA DE ALIMENTACIÓN	3 PINES
CON2	CONECTOR DE SALIDA A FOCOS	3 PINES
TR1	TRANSFORMADOR	120V A 9-0- 9V
Q1	TRANSISTOR	2N3904
D1	DIODO	1N4007
D2	DIODO	1N4007
D3	DIODO	1N4007
D4	DIODO	1N4007
D5	LED	
D6	LED	
D7	LED	
B1	BOTONERA	
B2	BOTONERA	
B3	BOTONERA	
B4	BOTONERA	
C1	CAPACITOR POLARIZADO	470μF/25V
R1	RESISTENCIA	39K, 1/2W
R2	RESISTENCIA	1K, 1/2W
R3	RESISTENCIA	330Ω, 1/2W
R4	RESISTENCIA	330Ω, 1/2W
R5	RESISTENCIA	330Ω, 1/2W
R6	RESISTENCIA	10K, 1/2W
R7	RESISTENCIA	10K, 1/2W
R8	RESISTENCIA	10K, 1/2W
R9	RESISTENCIA	10K, 1/2W
R10	RESISTENCIA	470Ω, 1/2W
R11	RESISTENCIA	470Ω, 1/2W
R12	RESISTENCIA	470Ω, 1/2W

R13	RESISTENCIA	100Ω, 1/2W
R14	RESISTENCIA	100Ω, 1/2W
R15	RESISTENCIA	100Ω, 1/2W

APÉNDICE B

DIAGRAMA DE POSICIONES Y CIRCUITO IMPRESO

En la siguiente figura se puede revisar las posiciones en las que se encuentran físicamente los elementos en la placa y la forma del circuito impreso.

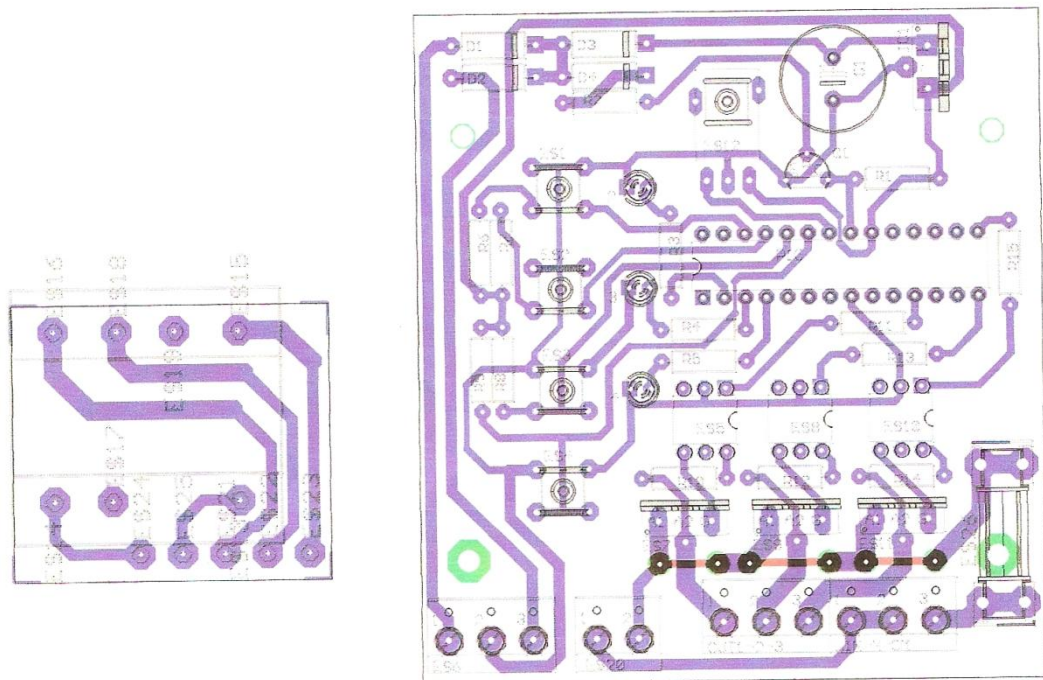


Fig B.1. Diagrama de posición de elementos

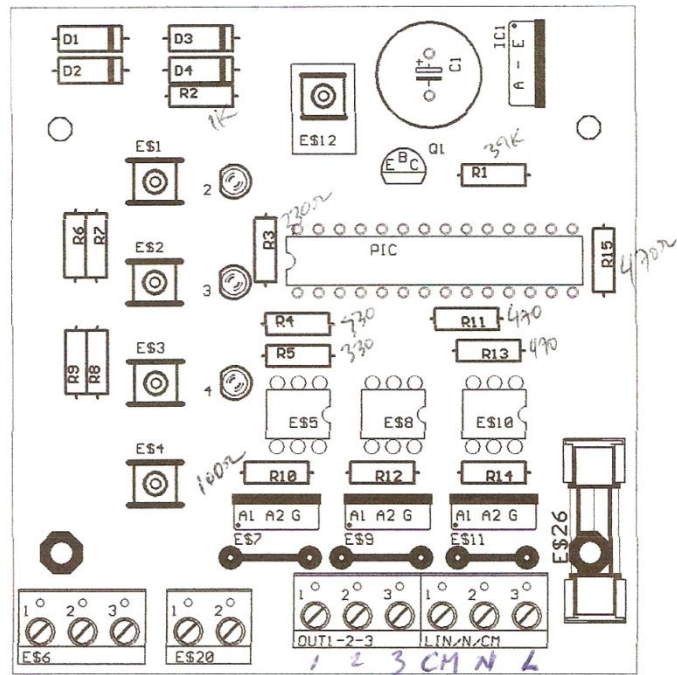
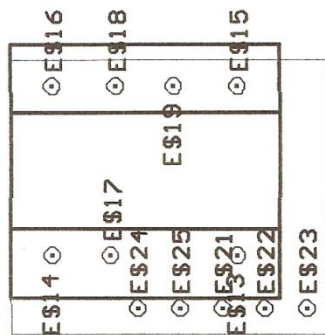


Fig B.2. Diagrama del circuito impreso

APÉNDICE C

CÓDIGO FUENTE DEL CONTROLADOR DEL SISTEMA

El código fuente del microcontrolador PIC16F886 se proporciona en un CD adjunto al documento del presente proyecto de graduación.

APÉNDICE D

IMÁGENES DEL MÓDULO

En este apéndice se muestra las imágenes de las vistas del equipo y cuando éste se encuentra en funcionamiento.



Fig D.1. Vistas del módulo

En la siguiente figura se puede apreciar el funcionamiento de uno de los focos, el led indicador del equipo muestra que se está encendiendo el foco correspondiente a la primera dirección.



Fig D.2. Encendido de un foco



Fig D.3. Equipo en funcionamiento con los 3 focos encendidos

En la siguiente figura se muestra una escena programada por el sistema, podemos apreciar diferentes niveles de intensidad luminosa en cada una de los focos.



Fig D.4. Escena programada en funcionamiento

En la siguiente figura se muestra en cambio de la escena anterior a otra con diferentes niveles de intensidad, los leds del equipo indican que la tarea se está realizando en el momento y por tanto el equipo se encuentra en estado ocupado.



Fig D.5. Cambio de escena

BIBLIOGRAFÍA

- CRAIG DILOUIE, Advanced Lighting Controls: Energy Saving, Productivity, Technology and Applications; The Fairmont Press, Inc.
- CUSTOM COMPUTER SERVICES INC, C Compiler Reference Manual, Version 4, 2007.
- FREESCALE SEMICONDUCTOR, Infrared Remote Control Techniques on MC9S08RC/RD/RE/RG Family, Application Note AN3053, Rev. 1 03/2008.
- Información sobre luminarias incandescentes, halógenas, LFCs y LEDs, www.osram.com
- JULIO SÁNCHEZ, MARÍA P. CANTON, Microcontroller Programming: The Microchip PIC; CRC Press.
- MICROCHIP, IR Remote Control Transmitter, Application Note AN1064.
- MICROCHIP, PIC16F882/883/884/886/887 DATASHEET.
- NIGEL GARDNER, An Introduction to Programming the Microchip PIC in CSS C.
- Protocolo SIRC, <http://www.sbprojects.com/knowledge/ir/sirc.htm>, <http://picprojects.org.uk/projects/sirc/sonysirc.pdf>

- TIM WILMSHURST, Designing Embedded Systems with PIC Microcontrollers: Principles and Applications, First Edition 2007, ELSEVIER.